

Periodical Part, Published Version

**Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau (Hg.)**

## **Schriftenreihe Wasser- und Grundbau Heft 53**

Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105773>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau (Hg.) (1988): Schriftenreihe Wasser- und Grundbau Heft 53. Berlin: Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau (Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau, 53).

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



**Mitteilungen der Forschungsanstalt  
für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau, Berlin**

Herausgegeben vom Direktor

# **Schriftenreihe Wasser- und Grundbau**

Heft 53



Berlin 1988

ISSN 0435-5997



**Mitteilungen der Forschungsanstalt  
für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau, Berlin**

Herausgegeben vom Direktor

# **Schriftenreihe Wasser- und Grundbau**

Heft 53



Berlin 1988

ISSN 0435-5997

Redaktion

VEB Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau/  
Wissenschaftliches Zentrum des VE Kombinat Binnenschifffahrt und  
Wasserstraßen

Abteilung Information/Dokumentation

Verantwortlicher Bearbeiter: Dipl.-päd., Ing. (N) W. Krüger

Alt-Stralau 44

DDR - Berlin

1017

Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau

<Berlin, DDR>: Schriftenreihe Wasser- und Grundbau : Mitteilungen.

- Berlin.

ISSN. 0435-5997

H. 53, 1988.

Druckgenehmigungsnummer:

Redaktionsschluß: 12/87

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, Übersetzung oder auszugsweise Wiedergabe nur mit Quellenangabe  
und nach Zustimmung des VEB FAS/WTZ zulässig.

Verehrter Leser!

Nach mehrjähriger Unterbrechung hat die Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau wieder begonnen, Mitteilungen in der Reihe "Binnenschifffahrt" herauszugeben. Die Thematik dieser Reihe soll mit dazu beitragen, die vielgestaltige Einheit von Wasserstraße und Binnenschifffahrt durch Publikation wissenschaftlicher Ergebnisse aus der Forschung und Entwicklung sowie praxisbezogene Erfahrungen den Fachkadern und Praktikern nahezubringen.

Die Mitteilungshefte in dieser Reihe werden, wie in der Reihe "Wasser- und Grundbau", in loser Folge herausgegeben.

Als ständiger Nutzer der Mitteilungshefte aus der Reihe "Wasser- und Grundbau" wären wir Ihnen sehr dankbar, wenn Sie tangierenden Fragen der Binnenschifffahrt ebenfalls Ihre geschätzte Aufmerksamkeit schenken würden. Sollten Sie sich für die Mitteilungen in der Reihe "Binnenschifffahrt" interessieren, so wenden Sie sich bitte an den  
VEB Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau,  
Abt. Information/Dokumentation

Alt-Stralau 44

Berlin

DDR-1017.

Die Preisgestaltung je Heft erfolgt analog der Schriftenreihe "Wasser- und Grundbau".

Aus dem Inhalt des 1988 erschienenen ersten Heftes der Reihe "Binnenschifffahrt" (Auswahl):

- Rechnergestützte Einsatzlenkung einer Binnentransportflotte;
- Die wissenschaftlich-technische Arbeit des VEB Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau auf dem Gebiet der Binnenschifffahrt;
- Die Ermittlung von Kupplungskräften bei Tandemverbänden im Seegang;
- Technische Diagnose an Binnenschiffsantrieben.

Der Herausgeber



Dr.-Ing. G. Glazik

Bau- und Betriebserfahrungen an  
Schiffshebewerken . . . . . 7

Опыт строительства и эксплуатации судоподъемников

Experiences in construction and operation of ship lifts

Dr.-Ing. C. Straube

Generalreparatur des Schiffshebewerkes  
Niederfinow im Zeitraum 1984/85 . . . . . 45

Капитальный ремонт судоподъемника Нидерфинов в  
период с 1984 по 1985 год

Complete repair of the ship lift Niederfinow in 1984/85

Dipl.-Ing. M. Alexy

Eisdruck auf Kanalbrücken . . . . . 82

Боковое давление льда на мосты канала

Ice pressure on canal bridges





# Bau- und Betriebserfahrungen an Schiffshebewerken

Dr.-Ing. G. Glazik     KDT

## 1. Einleitung

In den letzten Jahrzehnten ist das Interesse an Schiffshebewerken - dem wohl imposantesten Ingenieurbauwerk des Binnenverkehrswasserbaues - international deutlich gewachsen. Es hat sich die Einschätzung der Fachleute bestätigt, die, wie z. B. ROTHMUND in /1/, DEHNERT in /2/ und PRESS in /3/, Anfang der fünfziger Jahre in etwa ähnlichen Formulierungen feststellten, daß "zweifellos ... in den nächsten Jahrzehnten Hebewerke vermehrt und für größere Höhen gebaut werden, und somit neue Vorschläge, Neukonstruktionen, aber auch alte, gute Gedanken in moderner Ausbildung herauskommen" /3/.

Dieses Interesse ist begründet durch

- die Notwendigkeit des Ersatzes sowohl überalterter Hebewerke als auch von Schleusentreppen unter Zusammenfassung der Fallhöhen in einem einzigen Abstiegsbauwerk;
- den Neubau von Wasserstraßen unter Berücksichtigung der durch die technische Entwicklung ermöglichten Überwindung großer Fallhöhen;
- die stärkere Berücksichtigung wasserwirtschaftlicher Gesichtspunkte (gegenüber einer Schleuse hat ein Schiffshebewerk kaum Wasserverbrauch).

Das Interesse wird auch dadurch dokumentiert, daß jetzt wieder - 30 Jahre nach dem Buch von DEHNERT - eine Monographie /4/ über Schiffshebewerke erschienen ist.

## 2. Zielgerichteter Erfahrungsaustausch durch die "Ständige Internationale Vereinigung der Schiffahrtskongresse" (PIANC)

Wie auch für andere Teilgebiete des Verkehrswasserbaus hat die PIANC in ihrem jetzt über 100jährigen Bestehen viel für die Verbreitung von Erfahrungen mit Schiffsschleusen und -hebwerken getan /5/. Bereits auf ihrem ersten Kongress im Jahre 1885 standen u. a. die Fragen nach den Vorteilen verschiedener Schleusenarten und nach der größtmöglichen Hubhöhe auf der Tagesordnung. Der Kongreß im Jahre 1902 behandelte speziell die Überwindung großer Höhen; bezüglich der Schiffshebwerke verabschiedete er Empfehlungen, die vom nachfolgenden Kongreß 1905 bestätigt wurden und die insbesondere folgende Punkte betrafen:

- Hebewerke sind vor allem dann eine Lösung für große Hubhöhen, wenn es an Wasserressourcen mangelt.
- Der Bau von Schiffshebwerken setzt einen hohen Stand der Metallurgie und des Stahlbaus voraus.

Größere Erfahrungen mit Hebewerken lagen damals noch nicht vor; die ersten (senkrechten) Hebewerke für größere Schiffe von 300 t bzw. 360 t und Hubhöhen von 13 m bzw. 15 m waren gerade erst 1888 in Frankreich und Belgien entstanden.

In späteren Jahren wurden von Zeit zu Zeit immer wieder Probleme der Schiffshebwerke erörtert. Der Kongreß 1965 gab u. a. folgende Orientierung:

"Unter Berücksichtigung des technischen Fortschritts kann man Bauwerke mit kleiner Fallhöhe bis zu 10 m und Bauwerke mit sehr großen Höhen von mehr als 30 m unterscheiden. Bei den kleinen Fallhöhen ist die Schleuse, bei den großen das Schiffshebewerk üblich."

Zwecks zusammenfassender Vermittlung von Erfahrungen schuf die PIANC 1972 eine internationale Kommission für das Studium von Schleusen, Hebewerken, Trockendocks und Wehren. Dieser Themenkreis erwies sich jedoch als zu umfassend, so daß im Laufe der Zeit einzelne Themen besonders abgehandelt wurden. Auf dem im Juni 1985 in Brüssel durchgeführten 26. Internationalen Schiffahrtskongreß /6/ stand u. a. folgendes Thema auf der Tagesordnung:

"Neuerungen beim Entwurf sowie bei den Bau- und Betriebsmethoden von Stauanlagen und Bauwerken zur Überwindung von Fallhöhen unter besonderer Berücksichtigung neuer Materialien und Bautechnologien sowie der steigenden Anwendung der Elektronik in Betriebssystemen."

Der Generalberichter zu dem Thema, Prof. J. SEYVERT von der Universität Brüssel, hob hervor, daß bei der Vielzahl und der Unterschiedlichkeit der in den vorgelegten Beiträgen behandelten Fragen nur wenig Platz für die der Schiffshebwerke geblieben ist und daß diese wiederum allein ein Kongreßthema sein könnten. Während des Kongresses in Brüssel wurde im Rahmen der o. g. Studienkommission eine spezielle Arbeitsgruppe für Schiffshebwerke unter Leitung von Prof. J. SEYVERT gebildet, die folgenden Arbeitsplan annahm:

- Beschreibung der Prinzipien und der hauptsächlichlichen Elemente;
- Beschreibung der verschiedenen Systeme;
- Beschreibung der existierenden Schiffshebwerke und Lehren aus ihrem Betrieb;
- Mögliche zukünftige Anwendungen;
- Empfehlungen auf Grund von Erfahrungen mit existierenden Schiffshebwerken.

Dabei sollten im einzelnen behandelt werden:

- Schlußfolgerungen aus den technischen und den ökonomischen Untersuchungen für die Wahl eines bestimmten Systems;
- Ereignisse, wie Unfälle und Havarien während der Bauausführung;
- Baukosten;
- Während des Betriebes erkannte Vor- und Nachteile;
- Ereignisse, wie Unfälle und Havarien während des Betriebes und deren Behebung;
- Betriebs-, Unterhaltungs- und Instandsetzungskosten.

Mit den auf dem Territorium der DDR vorhandenen Schiffshebwerken Niederfinow und Rothensee (Inbetriebnahme 1934 bzw. 1938) wurde eine neue, moderne Phase des Hebewerkbaus eingeleitet. Es ist verständlich, daß die internationale Fachwelt ein Interesse an den mit diesen Bauwerken gesammelten Erfah-

rungen hat. Dementsprechend wurde der Autor dieses Beitrages in die Arbeit der Arbeitsgruppe einbezogen. Mit dem vorliegenden Beitrag wird über einige Erfahrungen mit den genannten Anlagen berichtet.

### 3. Gegengewichtshebewerk Niederfinow

#### 3.1. Allgemeines

Am 21. März 1984 jährte sich zum 50. Mal der Tag der Inbetriebnahme des Schiffshebewerkes Niederfinow. Dieses Jubiläum erreichte das Hebewerk ohne größere Ausfallzeiten. Nach umfangreichen Vorbereitungsarbeiten wurde im September 1984 mit einer Generalreparatur begonnen, die im April 1985 planmäßig abgeschlossen wurde, worüber in /7/ ausführlich berichtet wird.

Über die Konstruktion und den Bau des Schiffshebewerkes Niederfinow finden sich in der Fachliteratur zahlreiche Veröffentlichungen. Zu seiner Einordnung in Entwicklungstendenzen werden am Schluß dieses Beitrages einige Ausführungen gemacht. Das Hebewerk gehört zur Oder-Havel-Wasserstraße. Der Bau des Oder-Havel-Kanals, als Verbindung zwischen den beiden Strömen, parallel zum Finowkanal, wurde 1905 beschlossen. Der Abstieg bei Niederfinow, mit ca. 36 m, mußte bei seiner Inbetriebnahme im Jahre 1914 über eine Schleusentreppe mit vier Schleusen von je 9 m Höhenunterschied überwunden werden. Bereits damals wurde an den Bau eines Schiffshebewerkes gedacht. Die Entwicklung der Technik war aber noch nicht soweit fortgeschritten, um dieses Vorhaben zu verwirklichen. Anfang der zwanziger Jahre begann dann intensiv die Vorbereitung des Baus eines Hebewerkes. Verschiedene Firmen legten Entwürfe vor und unterbreiteten Vorschläge. Zur Ausführung gelangte der Entwurf der Wasserstraßenverwaltung (Bild 1). Das Hebewerk wurde für Schiffe bis 1000 t bei senkrechtem Hub und völligem Gewichtsausgleich vorgesehen, welcher mit Gegengewichten und Seilen über Seilscheiben erfolgt.

### 3.2. Betriebserfahrungen

Wie bei jeder größeren Anlage, so wurden natürlich auch nach Inbetriebnahme des Schiffshebewerkes Niederfinow Erfahrungen gesammelt, die zu kleineren Änderungen und Ergänzungen an einzelnen Teilen führten und über die seinerzeit zahlreiche veröffentlichte Fachaufsätze berichteten. Sie wurden von DEHNERT in /2/ zusammengefaßt dargestellt. Daraus seien kurz genannt:

- Elektrische Beheizung des Troges zum Schutz gegen Frostschäden;
- Gleichmäßige Einstellung der Antriebe;
- Veränderungen bzw. Verstärkungen an einigen Stahlbauteilen, u. a. um eine bessere Zugänglichkeit für Unterhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten zu erreichen.

Im Verhältnis zur Größe und Kompliziertheit der Anlage sind das nur wenige und keine gravierenden Punkte gewesen.

Mit dem 50jährigen Jubiläum des Schiffshebewerkes wurde auch die 500 000ste Trogfahrt durchgeführt. Das Jubiläum war u. a. Anlaß, rückblickend die bisherigen allgemeinen Betriebserfahrungen einzuschätzen. Nachstehend werden in Anlehnung an eine Darstellung /8/ des derzeitigen Leiters des Hebewerkes, J. VÖLTER, die wesentlichsten Betriebsergebnisse chronologisch dargestellt. Nach der Inbetriebnahme am 21. März 1934 arbeitete das Hebewerk - sieht man von den bereits erwähnten anfänglichen Änderungen usw. ab - bis zum 1. April 1944 praktisch störungsfrei. An diesem Tag löste sich ein Keil in der Ringwellenleitung einer Antriebsmaschine, wobei sich der Trog schief stellte; die Beseitigung dieser Havarie nahm 12 Tage in Anspruch.

Den 2. Weltkrieg hat das Schiffshebewerk ohne Schaden überstanden; es konnte jedoch erst wieder im August 1945 in Betrieb gehen - u. a. wegen Ausfall der Stromversorgung. Mit der Bereitstellung von Dieselmotorkraftstoff und der Inbetriebnahme des Dieselmotorkraftwerkes konnte der Schiffahrts- und Hebewerksbetrieb wieder aufgenommen werden.

Im Frühjahr 1947 kam es durch Deichbruch an der Oder zur Überschwemmung der gesamten Niederung um das Schiffshebewerk. Sämtliche Betriebsgebäude, einschließlich des Dieselmotorkraftwerkes, standen unter Wasser. Nach Rückgang des





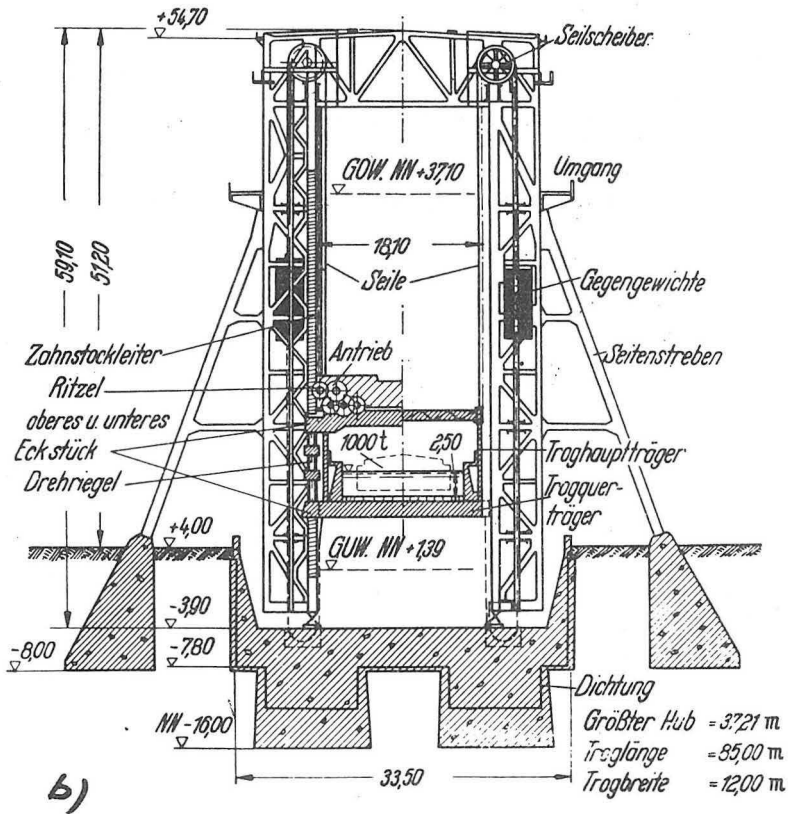


Bild 1: Gegengewichtshebewerk Niederfinow /2/  
a) Längsschnitt  
b) Querschnitt

Wassers bis unter die Höhe des Untertores begannen die Instandsetzungsarbeiten. Dieser Ausfall umfaßte die Zeit vom 5. April bis zum 31. Mai 1947.

Im Juni 1951 löste sich eine Schraubenmutter von der Aufhängestange eines Drehriegelführungswagens, und ein Lager fraß sich fest. Die sehr mühselige Reparatur nahm eine Woche in Anspruch.

Im Sommer 1963 entstand durch den Bruch eines Kugellagers in einer Antriebs-  
spindel eine Stillstandszeit von sechs Tagen. In dieser Zeit wurde die Spindel ausgebaut und das Lager erneuert.

Eine weitere Havarie war im November 1963. Der Antriebsmotor des Umformersatzes wurde defekt. Vorübergehend mußte der Betrieb mit einem Ersatzmotor aufrechterhalten werden. Nach zwei Wochen erfolgte der Einbau des reparierten Motors. Der Originalzustand war wieder hergestellt.

Die letzte Havarie, die einen mehrtätigen Ausfall zur Folge hatte, entstand im September 1979. Am unteren Haltungstor riß ein Stehbolzen eines Lagers, wodurch eine Welle und die starre Kupplung verbogen wurden. Bei der Reparatur leisteten eine Schiffsreparaturwerft und ein Reichsbahnausbesserungswerk schnelle Hilfe, so daß bereits nach drei Tagen der Betrieb wieder aufgenommen werden konnte.

Die Trogseile haben die lange Betriebszeit von 50 Jahren ohne Ausfall gehalten. Im Rahmen der bereits erwähnten Generalreparatur erfolgte ein Seilwechsel.

Diese wenigen Havarien in den 50 Jahren waren mit keinem nennenswerten Ausfall verbunden. Insgesamt waren es 36 Ausfalltage wegen technischer Havarien. Damit beträgt die Ausfallzeit des Schiffshebewerkes für die zurückliegende Zeit 0,21 %. Dieses äußerst gute Ergebnis ist sowohl auf die solide Konstruktion und Ausführung als auch auf die ausgezeichneten Leistungen und die hohe Einsatzbereitschaft aller Mitarbeiter des Schiffshebewerkes zurückzuführen.

Nachstehend noch einige Darlegungen zu technischen Veränderungen, die im Laufe der Jahre vorgenommen wurden.

Um den gesamten Stahlbau für lange Zeit zu erhalten, werden seit längerem jährlich Anstrich- bzw. Konservierungsarbeiten ausgeführt. Sie sind mit einer Firma vertraglich gebunden, und in der offenen Jahreszeit - etwa April bis Oktober - werden ständig mehrere Maler eingesetzt. Bei diesem Rhythmus erhalten alle Teile des Hebewerkes in sechs bis sieben Jahren einmal einen Korrosionsschutzanstrich. Durch Verwendung von Eisenglimmer-Aluminium-Deckfarben konnte auch die ursprüngliche Farbgebung erhalten werden. Einige Stellen mit ungünstigem konstruktiven Korrosionsschutz mußten bei der Generalreparatur gesondert behandelt werden. Eine wichtige Investition war 1968 der Einbau des kathodischen Korrosionsschutzes in den Trog und in die untere Haltung. Dieser hat sich so gut bewährt, daß im Laufe der Jahre auch für die Kanalbrücke und die Stahlspundwände ein gleicher Korrosionsschutz eingeführt wurde.

Für eine sichere Stromversorgung ist 1967 eine neue Transformatorenstation gebaut worden, woran sich 1972 der komplette Umbau der Hoch- und Niederspannungsanlagen im Dieselkraftwerkshaus anschloß. In den Jahren 1965/1966 wurden im gesamten Bereich des Schiffshebewerkes neue moderne Beleuchtungen installiert, da die früheren Anlagen, insbesondere in den Vorhäfen, nicht mehr den Erfordernissen entsprachen.

Nachdem 1970 auch die letzten Maschinenkomplexe mit einer Zentralschmierungsanlage ausgerüstet waren, wurde die Arbeit der Maschinisten wesentlich leichter. Die vielen hundert Schmierstellen mußten nicht mehr einzeln von Hand mittels Staufferbuchsen geschmiert werden.

Im Jahr 1980 wurde in der oberen Haltung der mechanische Antrieb für den Dichtungsrahmen ausgebaut und durch einen hydraulischen ersetzt.

Um den Schiffahrtsbetrieb am Hebewerk mit der sich durchsetzenden Schubschiffahrt noch effektiver zu gestalten, wurde an einer Seite des Unterhafens eine Spundwand gerammt. So wurde es möglich, die Schubprähme mittels der umlaufenden Treidelanlage aus dem Trog zu ziehen. Nach 64 Jahren Treidelbetrieb mit Elektrolokomotiven an der Schleusentreppe und dem Hebewerk wurde dieser im April 1978 eingestellt. Die letzte vorhandene Lokomotive steht jetzt als technisches Denkmal in der oberen Haltung.

Durch die vielfältigen Maßnahmen und baulichen Veränderungen bzw. Ergänzungen an der ursprünglichen Anlage wurden außer den bereits genannten Erleichterungen, z. B. durch die Zentralschmierungsanlage, auch die Arbeits- und Lebensbedingungen weiter verbessert. Hierzu zählen u.a. der Witterungsschutz sowie die Erhöhung der Sicherheit durch zusätzliche Überdachungen, insbesondere aber der Bau eines gut eingerichteten Sozialgebäudes.

Die Belegschaft besteht aus insgesamt 41 Mitarbeitern. Eine Schicht ist in der Regel mit einem Schichtleiter, dem Trogfahrer, dem Maschinisten und zwei Treidlern besetzt. Das übrige Personal sind die Besetzung der Werkstatt, die Unterhaltungsarbeiter und das Büropersonal. Fast ein Drittel der Mitarbeiter sind mehr als 20, einige davon bereits mehr als 30 Jahre direkt beim Hebewerk beschäftigt. Das Durchschnittsalter beträgt 44 Jahre. Es gibt also einen Stamm von erfahrenen, langjährigen Mitarbeitern und ausreichend jüngere Kader, die von den älteren Kollegen die Erfahrungen übernehmen. Außer dem Schiffshebewerk werden von dessen Werkstatt noch einige benachbarte hydrotechnische Anlagen (Schleusen und Wehre) bedient. Vorrangige Aufgabe der mit Schlossern und Elektrikern besetzten Werkstatt jedoch sind die Pflege und Wartung sowie die vorbeugende Instandsetzung des Hebewerkes. Hierzu gehören auch sämtliche Teile der sehr umfangreichen Störreserve, die Anlagenteile des Maschinenbaues und der Elektrotechnik umfaßt. Verbrauchte Teile der Störreserve werden laufend ersetzt.

Um den Schiffahrtsbetrieb so wenig wie möglich zu behindern, werden viele Arbeiten, die eine Stillstandszeit bis zu zehn Stunden erfordern, in jeweils speziell vorbereiteten Nachtschichten durchgeführt. Das trifft z. B. für das Auswechseln von Gummidichtungen zu.

#### 4. Entwicklungstendenz bei Senkrecht- und speziell Gegengewichtshebwerken

##### 4.1. Allgemeines

Die Mehrzahl der bis heute gebauten Schiffshebewerke sind solche mit senkrechter Förderung. Das älteste deutsche und gleichzeitig überhaupt erste Senkrecht-hebewerk ist das von Halsbrücke bei Freiberg in Sachsen /9/. Es wurde 1789 in Betrieb genommen und 1868 außer Betrieb gesetzt. Die Hubhöhe von 8 m wurde in

Trockenförderung vermittelt eines durch Menschenkraft betriebenen Flaschenzuges überwunden. Sieht man von einer 1798 in England in Betrieb gegangenen sogenannten "Tauchschleuse" ab, so war das erste Senkrechthebewerk mit Naßförderung das ab 1809 ebenfalls in England betriebene von Tardebigge am Worcester-Birmingham-Canal. Es arbeitete bei einer Hubhöhe von nur 3,60 m und einer Tragfähigkeit für Schiffe von 40 t mit Gegengewichten /4/. Seitdem wurden - mit Ausnahme einiger kleinerer Anlagen in der VR China - sämtliche Senkrechthebewerke für Naßförderung errichtet; nach der Anlage von 1809 in England bis zu der in Niederfinow jedoch ausschließlich als Druckwasser- oder Schwimmerhebewerke. Nach /5/ sind "die Rentabilität und die Grenzen der Hebewerke mit Schwimmern durch die hohen Kosten der Schwimmerschächte (siehe Bild 10) bestimmt - insbesondere, wenn der Untergrund von schlechter Qualität ist. Deshalb ist man bei den großen Höhenunterschieden in Niederfinow und Lüneburg auf die Gegengewichtshebewerke zurückgekommen, nachdem man die Gesamtheit der Bedingungen der Bauausführung und des Betriebes betrachtet hat."

Das Gegengewichtshebewerk Niederfinow stellt einen Markstein in der Entwicklung des Hebewerkbaus dar. Es wurde häufig mit Superlativen bedacht. So nannte es z. B. HENTZE in seinem Lehrbuch /10/ "die größte Ingenieurschöpfung der Erde in dieser Art" und noch 1954 konnte es DEHNERT in seiner Monographie /2/ als "das größte Schiffshebewerk der Welt" bezeichnen. Tatsächlich wurde mit ihm der moderne Hebewerkbau eingeleitet. Einmal läßt sich dies durch die erstmalig erreichten großen Hauptabmessungen (Troglänge 85 m, Trogbreite 12 m, Tragfähigkeit der Schiffe 1000 t) charakterisieren, wobei mit der Hubhöhe von 36 m die bis dahin erreichten Hubhöhen sprunghaft annähernd verdoppelt wurden. Zum anderen ist diese Leistungsfähigkeit ein Ausdruck des seinerzeit erreichten hohen Entwicklungsstandes der Technik, insbesondere der Metallurgie, des Stahlbaues, des Maschinenbaues und der Elektrotechnik. Diese moderne und auch heute noch voll funktionsfähig ihren Aufgaben gerecht werdende Anlage - was auch für die nächsten Jahrzehnte erwartet wird - konnte nur durch eine sorgfältige Vorbereitung geschaffen werden. Die Planung und die Entwurfsbearbeitung des Schiffshebewerkes Niederfinow, die rund ein Vierteljahrhundert in Anspruch genommen hat und in deren Rahmen u. a. mehrere hochrangige Wettbewerbe stattfanden, ist von DEHNERT als "die Geschichte des modernen Hebewerkbaues schlechthin" charakterisiert worden.





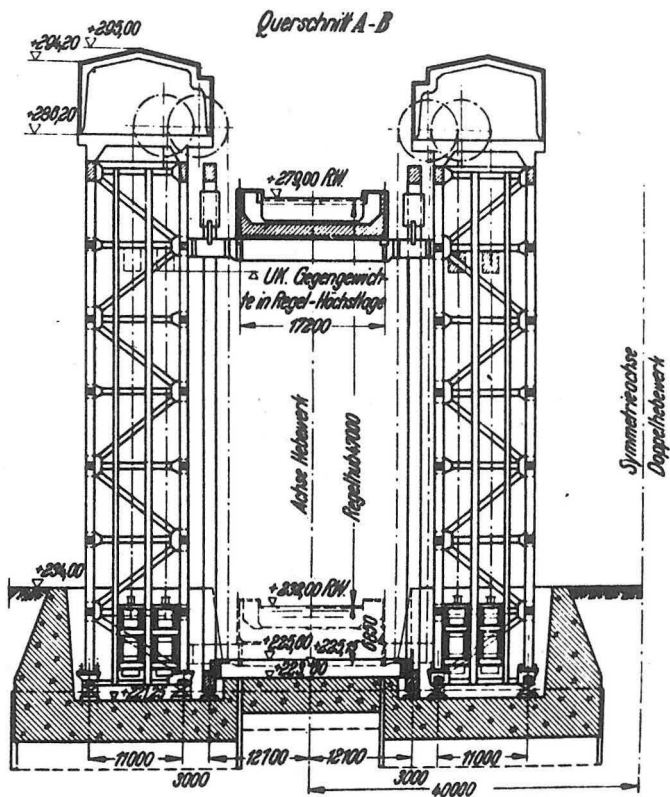


Bild 2: Entwurf eines Gegengewichtshebewerkes für den geplanten Oder-Donau-Kanal /2/

PRÜSSMANN versuchte bereits zu Beginn des Jahrhunderts, quantifizierte Kriterien für die Wahl von Schleuse oder Hebewerk anzugeben /11/. Die neuere Entwicklung hat natürlich andere Bedingungen geschaffen, und diese Tendenz hält an. So wurde in der UdSSR die Schleuse Ust-Kamenogorsk am Irtisch bereits mit einer Hubhöhe von 42 m gebaut, und es gibt auf der Welt mehrere Schleusen mit Höhen zwischen 30 und 40 m. Allgemein wird heute die Ansicht vertreten, die von KUHN\*) so formuliert wurde, daß "die örtlichen Gegebenheiten für die Wahl zwischen Hebewerk und Schleuse entscheidend (sind), wenn nicht ... ein maßgebender Gesichtspunkt allein schon bindend für eine der beiden Lösungen spricht" /12/ - z. B. wasserwirtschaftliche Bedingungen.

Eine ähnliche Auffassung wird bezüglich der unterschiedlichen Hebewerkarten vertreten. Dazu schreibt z. B. ebenfalls KUHN /12/: "Von jeder der aufgeführten Förderungsarten existieren jeweils nur wenige Ausführungen, die fast durchweg untereinander wiederum verschieden sind; jedes Hebewerk ist bis zu einem gewissen Grad ein Individuum. Im Vergleich zu den Schleusen ist es daher ungleich schwieriger, zu einer Philosophie der Hebewerke, einer Systematik der Entwicklung von Hebewerktypen zu gelangen ... Eine gewisse Systematik aus der Sicht des Verkehrswasserbaues gründet sich neben den ... Hauptförderungsarten (Senkrechtförderung, Schrägförderung, Naß- und Trockenförderung) auf die betriebsorientierten Konstruktionselemente, die in mehr oder minder ausgeprägter Form allen Typen gemeinsam sind," wozu er die Führung des Troges, den Gewichtsausgleich usw. zählt. Der vorliegende Beitrag kann nicht das Ziel der Herausarbeitung einer solchen Systematik haben. Die schnelle Entwicklung auf dem Gebiet des Hebewerkbaues liefert jedoch selbst weiterführendes Anschauungsmaterial. Unter Bezugnahme auf eine Arbeit von ILLIGER aus dem Jahre 1971 /13/ verweist KUHN u. a. darauf, daß die Grenze der Förderhöhe beim Senkrechtbewerk noch unter 50 m läge. Inzwischen ist seit 1982 in Belgien das Gegengewichtshebewerk Strépy-Thieu mit einer Höhe von 73 m im Bau /14/. Das Programm des 26. Internationalen Schiffahrtskongresses 1985 in Brüssel, an welchem der Autor als Vertreter des VEB FAS teilnahm, beinhaltete auch eine Besichtigung der Baustelle einschließlich einer Ausstellung über Entwurfsarbeiten u. ä. Dies sowie die Auswertung der Betriebserfahrungen am

---

\*) Prof. Dr. KUHN ist derzeit Leiter der in Abschnitt 2. genannten PIANC-Kommission für das Studium von Schleusen und Hebewerken.

Schiffshebewerk Niederfinow veranlaßten den Autor zu einer vergleichenden Betrachtung der Entwicklung im Bau von Gegengewichtshebewerken seit der Errichtung des Werkes in Niederfinow, zumal über die Anlage Strépy-Thieu bisher nur wenig in der internationalen Fachliteratur publiziert wurde (siehe /4/, /14/).

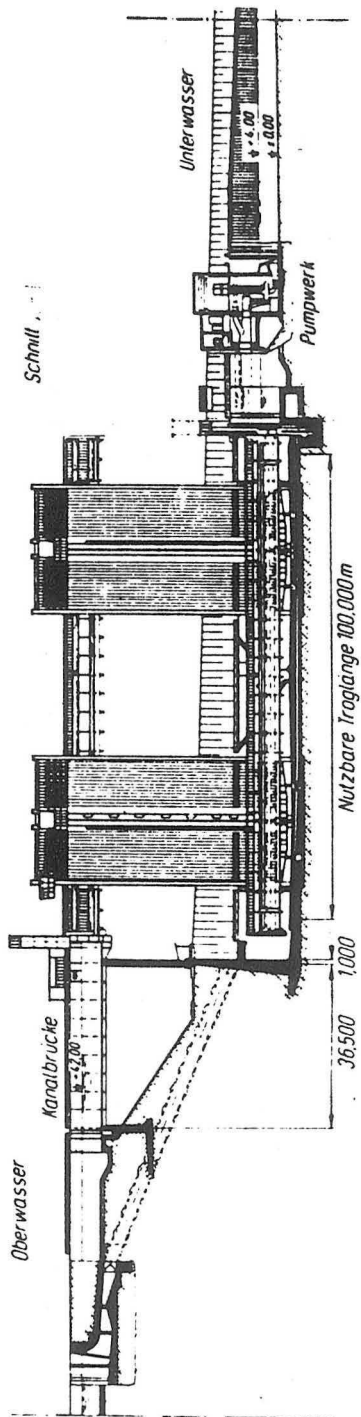
In der Monographie von DEHNERT /2/ ist das Kapitel Gegengewichtshebewerke praktisch am Beispiel von Niederfinow abgehandelt. Er geht dabei auch auf das "nicht leicht zu lösende Problem ... der ästhetisch befriedigenden Gestaltung von Schiffshebewerken" ein und schreibt dazu:

"Die Vielheit seiner Einzelteile führt dazu ..., daß das Bauwerk nicht als einheitlich Ganzes wirkt. Es sind daher viele Versuche vorgenommen worden, Gegengewichtshebewerke in Massivbauweise auszuführen. Bei früheren Entwürfen dieser Art hängt der Trog an Drahtseilen, die sich beiderseits auf seine ganze Länge verteilen, also wie in Niederfinow Seilscheiben, Gegengewichte und tragende Wände längs des gesamten Bauwerkes erfordern. Ein Gegengewichtshebewerk kann aber in wirtschaftlicher und technischer Hinsicht günstiger gestaltet werden, wenn man die Anzahl der Gegengewichte nebst Zubehör an bestimmten Punkten des Schiffstrogas in einzelnen Türmen zusammenfaßt und die sich beim Gewichtsausgleich ergebenden Kräfte auf dem kürzesten Weg dem Erdreich zuleitet. Ein derartiges Gegengewichtshebewerk ist bereits bei der Entwurfsbearbeitung von Schiffshebewerken für den Oder-Donau-Kanal entwickelt worden (Bild 2). In diesem Entwurf sind insgesamt 84 Seilscheiben bei einer höchsten Zapfenbelastung von 76 t ... vorgesehen, während das Hebewerk Niederfinow 256 Seilscheibenlager<sup>+</sup> bei einer Zapfenbelastung von 47,5 t je Lager aufweist. Die Abmessungen der 4 Türme sind natürlich von der Unterbringung der Seilscheiben und der Gegengewichte abhängig.

Der technische und der wirtschaftliche Vorteil dieser Bauweise gegenüber der in Niederfinow gewählten ist unverkennbar. Je konzentrierter man die Kräfte auf die 4 Türme überleiten kann, um so geringer ist der Materialaufwand. Erstrebenswert wäre es, das Troggewicht durch nur 4 Gegengewichte etwa in den Viertelpunktendes Troges auszugleichen, denn dann könnten die erforderlichen 4 Gerüsttürme mit den geringsten Breitenabmessungen ausgeführt werden."

---

<sup>+</sup>) entspricht 128 doppelrilligen Seilscheiben



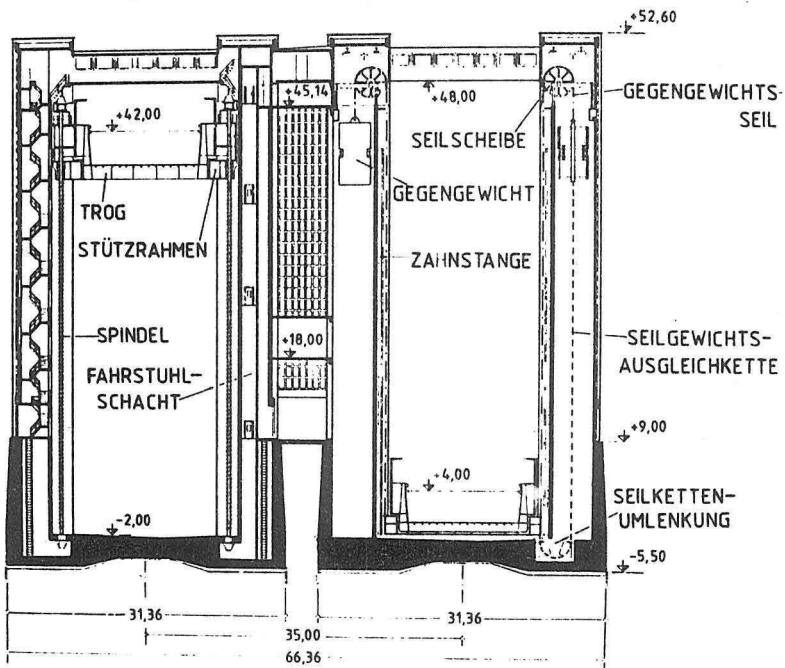


Bild 3: Gegengewichtshebezeug Lüneburg //  
 a) Längsschnitt  
 b) Querschnitt

#### 4.2. Hebewerk Lüneburg/BRD

Das dargelegte Prinzip wurde bei dem nächsten nach Niederfinow gebauten Gegengewichtshebewerk mit senkrechter Naßförderung, dem 1975 in Betrieb genommenen und für 1350-t-Schiffe ausgelegten Schiffshebewerk Lüneburg in der BDR, realisiert (Bild 3). Es liegt in der Trasse des Elbe-Seitenkanals und überwindet eine Höhe von 38 m. Wasserwirtschaftliche Gründe sprachen für ein Hebewerk. Nach Vergleichsentwürfen sowohl für Schleusen mit Sparbecken als auch für verschiedene Arten von Hebewerken fiel unter Berücksichtigung der Baukosten und der Leistungsfähigkeit die Entscheidung zu Gunsten eines Gegengewichtshebewerkes mit 2 Trögen. In Niederfinow sind die Gerüste für die Führung des Troges, den Antrieb, die Gleichlaufsicherung und die Trogsicherung in das räumliche Stahlfachwerk-Tragsystem einbezogen (Bild 6). Die 4 Einzeltürme des Doppelhebewerkes Lüneburg wurden in Massivbauweise errichtet, in massiven Gründungsplatten eingespannt und in den Turmköpfen durch massive Stege als Zug- und Druckriegel miteinander verbunden. Die Gegengewichte hängen an 240 Stahlseilen<sup>+)</sup> , welche über doppelrillige Seilscheiben laufen, die in den Turmköpfen der 4 im Bereich der Viertelpunkte der Troglänge angeordneten, je rd. 28 m breiten Führungs- und Gegengewichttürmen untergebracht sind. Die gesamte Last aus Gegengewichten und wassergefülltem Trog wird bei jedem der beiden Hebewerke in 8 Gegengewichtskammern über eine stählerne Trägerkonstruktion auf die Stahlbeton-Innenwand der Türme abgegeben. Als äußerer Abschluß, parallel zur tragenden Längswand, ist bei jedem Turm eine nichttragende offene Betonwatenfensterwand angeordnet, "die der Gesamtlänge ein gelungenes architektonisches Gepräge" geben soll /4/.

Der Dichtrahmen am Unterhaupt des Schiffshebewerkes Lüneburg muß den Schwan-  
kungen des mit der Elbe verbundenen Unterwassers (Lamelle 4 m) folgen. Die  
dafür gewählte Konstruktion hat ihr Vorbild im Hebewerk Magdeburg-Rothensee  
am Abstieg des Mittellandkanals zur Elbe (Bild 10).

---

+) Ihre Lebensdauer wird auf mindestens 45 Jahre veranschlagt.



#### 4.3. Hebewerk Strépy-Thieu/Belgien

Die einzige Wasserstraße der Welt, an der mehrere Hebewerke hintereinander betrieben wurden, war bisher der Canal du Centre in Belgien. Er verbindet Maas und Schelde miteinander. Seine Linienführung machte die Überwindung einer Höhendifferenz von insgesamt etwa 90 m erforderlich, die durch vier Druckwasser-Hebewerke und drei Schleusen bewältigt wurde. Ursprünglich nur für Schiffe bis zu 300 t Tragfähigkeit vorgesehen, wurde Anfang der 70er Jahre mit dem Ausbau für 1350-t-Schiffe begonnen. In diesem Zuge wurde ein Teilabschnitt durch eine neue parallele Kanalstrecke ersetzt, in deren Verlauf eine Wasserspiegeldifferenz von rd. 73 m durch ein oder mehrere Abstiegsbauwerke überwunden werden mußte.

In eingehenden Voruntersuchungen wurden die Bau- und die Betriebskosten sowie die Leistungsfähigkeit nachfolgend genannter Alternativlösungen ermittelt und einander gegenübergestellt:

- Schleusentreppe;
- Zwei Senkrechtbewerke mit je 36,50 m Hubhöhe;
- Ein Senkrechtbewerk mit 73 m Hubhöhe;
- Schrägaufzüge (geneigte Ebenen) verschiedener Neigungen;
- Wasserkeilbewerk.

Wegen der Wasserersparnis, der größeren Leistungsfähigkeit und des besseren Lastabtrages in den Untergrund fiel die Entscheidung für ein einzelnes, als Doppelbewerk ausgelegtes Gegengewichts-Hebewerk mit einer Hubhöhe von 73 m. In /14/ heißt es diesbezüglich: "Die Vergleichsuntersuchungen ... führten dazu, denselben Bauwerktyp zu übernehmen, wie er in Lüneburg errichtet wurde". Ähnlich wie seinerzeit mit der Anlage in Niederfinow wurde damit wiederum angenähert eine Verdopplung der bisher größten Hubhöhe erzielt. Durch das neue Hebewerk werden am alten Kanalabschnitt gelegene zwei Schleusen kleinerer Hubhöhe sowie vier Druckwasserhebewerke ersetzt. Das sind die zwischen 1888 und 1919 erbauten und konstruktiv alle gleich ausgebildeten Werke bei La Louvière (mit 15,4 m Hub) sowie Houdeng-Aimeries, Strépy-Bracquegnies und Thieu (mit je 16,9 m Hub). Diese Hebewerke haben sich bis heute gut bewährt, und der Kanalabschnitt dürfte weiterhin eine Touristenattraktion ("Route des ascenseurs") und zugleich technisches Denkmal sein.

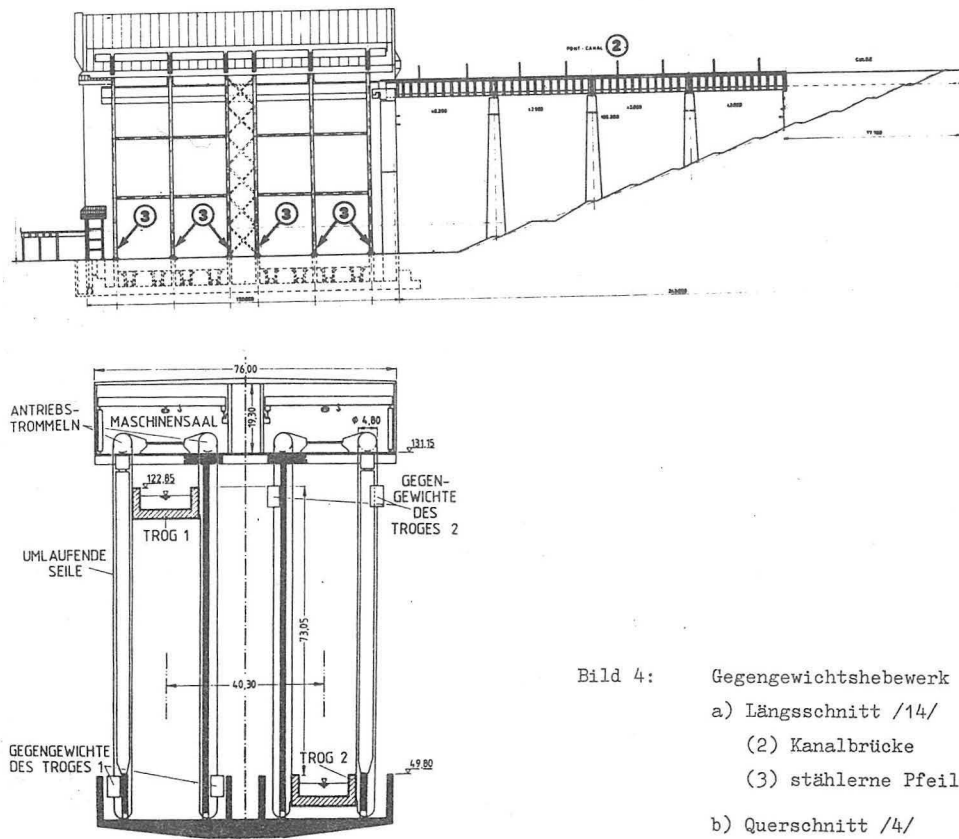


Bild 4: Gegengewichtshebewerk Strépy-Thieu

a) Längsschnitt /14/

(2) Kanalbrücke

(3) stählerne Pfeiler

b) Querschnitt /4/

Zur Abrundung der Darstellung werden in Bild 8 eine Fotografie und in Bild 9 Schnitte der alten Durchwasserhebwerke wiedergegeben.

Das neue Schiffshebewerk Strépy-Thieu (Bild 4) weist die für ein Gegengewichtshebewerk typische Flachgründung auf. Die wasserdicht ausgebildeten Trogwannen nehmen die Tröge in der unteren Betriebsstellung auf. Im Kopfteil sind der Maschinensaal und die Seiltrommeln bzw. Umlenkrollen für die Gegengewichtseile sowie die Steuerzentrale und eine Aussichtsgalerie für Besucher untergebracht. Der Lastabtrag aus der Trog- und Gegengewichtlast auf den Gründungkörper erfolgt im Mittelteil des Hebewerkes über tragende Betonwände (ähnlich wie in Lüneburg) und an den Außenseiten über Pfeiler (Position 3 in Bild 4). Die beiden Tröge sind durch je 144 Seile mit den Gegengewichten verbunden. Diese wurden zwar jeweils in 8 Gruppen zusammengefaßt, jedoch nicht wie bei den Türmen am Schiffshebewerk Lüneburg konzentriert, sondern über die gesamte Troglänge verteilt (ähnlich wie in Niederfinow, wo jedoch wiederum keine gruppenweise Zusammenfassung erfolgte).

In 4.1. ist unter Bezugnahme auf die Monographie von DEHNERT /2/ bereits auf die Problematik der ästhetisch befriedigenden Gestaltung von Schiffshebewerken hingewiesen worden, wozu dieser u. a. feststellt: "Ferner ist die Einbindung eines Hebewerkes in die umgebende Landschaft bei der Wahl der Hebewerkart von entscheidender Bedeutung. Es ist nicht leicht, für ein Hebewerk in seiner rein technischen und zum Teil nüchternen Sachlichkeit eine befriedigende Architektur zu erzielen. Die Vielheit der Einzelteile, wie Führungsgerüste, Rahmen für die Hubtore usw., führen leicht dazu, daß das Bauwerk nicht als einheitliches Ganzes wirkt ... Infolgedessen muß danach gestrebt werden, dem festen Teil des Hebewerkes Formen zu geben, welche die Geschlossenheit der Anlage einigermaßen herbeiführen". Nach DEHNERT bieten diesbezüglich Gegengewichtshebewerke in Massivbauweise günstigere Lösungen.

Das erste so ausgeführte Bauwerk ist das Schiffshebewerk Lüneburg, bei dem die Gegengewichte in Türmen, welche in Massivbauweise errichtet wurden, zusammengefaßt sind. Der in Bild 2 gezeigte Entwurf eines Hebewerkes mit in den Viertelpunkten zusammengefaßten Gegengewichten hat noch Stahlfachwerktürme. Ein Vergleich der Bilder 2 und 3 vermittelt einen gewissen Eindruck, obwohl für architektonische Betrachtungen die Bildwiedergaben unzureichend

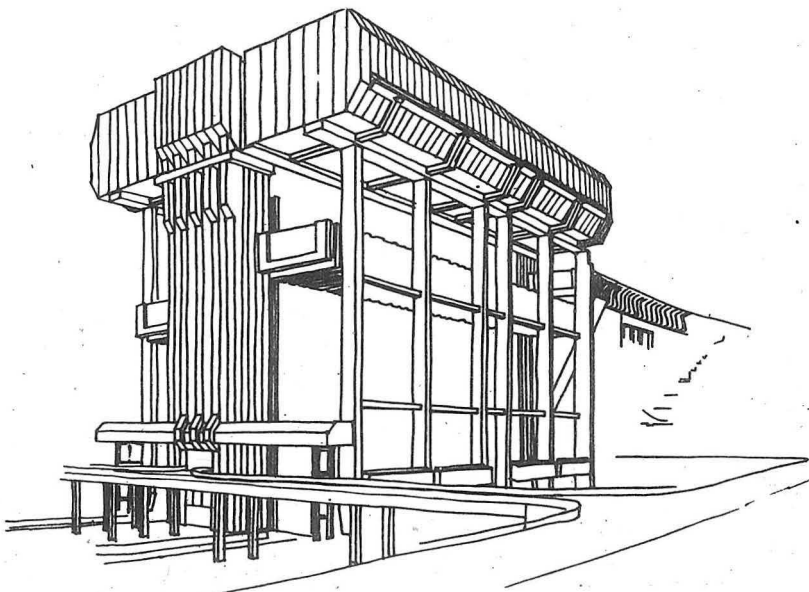


Bild 5:       Schiffshebewerk Strépy-Thieu  
perspektivische Ansicht /14/

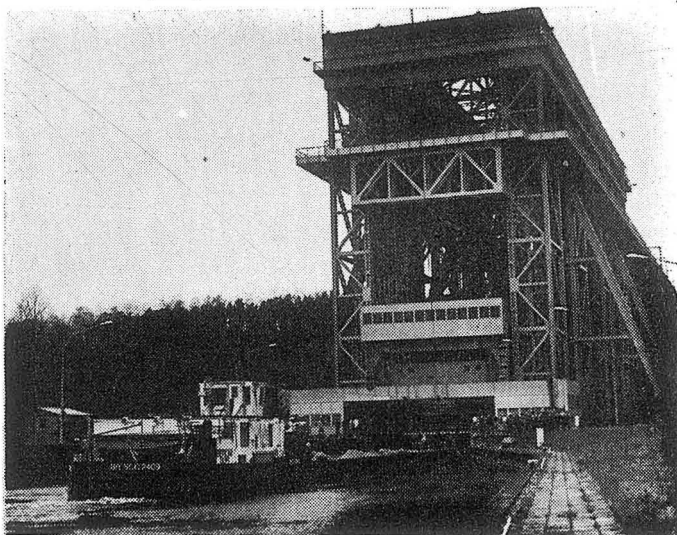


Bild 6:       Schiffshebewerk Niederfinow  
Ansicht vom Unterwasser bei Einfahrt eines  
Schubverbandes (Foto Ch. Knoll)

sind. Bei der fast doppelten Bauwerkhöhe gegenüber Lüneburg, galt es für Strépy-Thieu insbesondere, die bereits von DEHNERT als problematisch genannte Geschlossenheit der Anlage zu gestalten. Es wurde von Türmen abgesehen, was in Wechselwirkung zur technischen Auslegung, d. h. Verteilung der Seile über die gesamte Troglänge, steht. Damit wirkt das Hebewerk als einheitlicher Baukörper (Bild 5). Die äußeren Pfeiler wirken in der Seitenansicht architektonisch als Lisenen. In /14/ wird mit folgenden Worten auf die ästhetischen Aspekte der Anlage hingewiesen: "Es wurden architektonische Studien durchgeführt, um der Anlage einen ästhetisch spezifischen und ansprechenden Charakter zu verleihen. Insbesondere drei Elemente beeinflussten diese Untersuchungen: die großen Abmessungen, die einmalige technische Leistung, die unterschiedlichen Funktionen des Bauwerks bzw. einzelner seiner Teile. Der Gesamteindruck des Bauwerkes wurde so gestaltet, daß die verschiedenen funktionellen Teile (Maschinenraum, Kontrollgänge und öffentliche Zugänge) vom tragenden Teil getrennt wurden. Es wurden Sichtelemente angebracht, um den massiven und den monolithischen Charakter der Anlage zu mindern. Das gilt auch für den Maschinenraum; die gebrochenen Kanten verleihen diesem Volumen eine andere Dynamik als eine einfache rechteckige Form."

Bild 5 wurde /14/ entnommen; demgegenüber weist die in /4/ wiedergegebene perspektivische Ansicht, die aus einem nur wenige Jahre vorher herausgegebenen Informationsmaterial des belgischen Ministeriums stammt, noch kubische Formen auf.

Zum Vergleich sind die Bilder 6 und 7 als Fotografien der Stahlfachwerkskonstruktion des Schiffshebewerkes Niederfinow wiedergegeben. Gegenüber dem Hebewerk Lüneburg mit Anordnung von getrennt stehenden Türmen hat sich die ebenfalls in Massivbauweise errichtete Anlage von Strépy-Thieu wieder dem äußeren Gesamteindruck von Niederfinow angenähert.

Die Inbetriebnahme des Schiffshebewerkes Strépy-Thieu, des mit 73 m Hubhöhe weitaus größten Senkrecht-Hebewerks (mit Gegengewichtsausgleich), ist für 1988 vorgesehen.

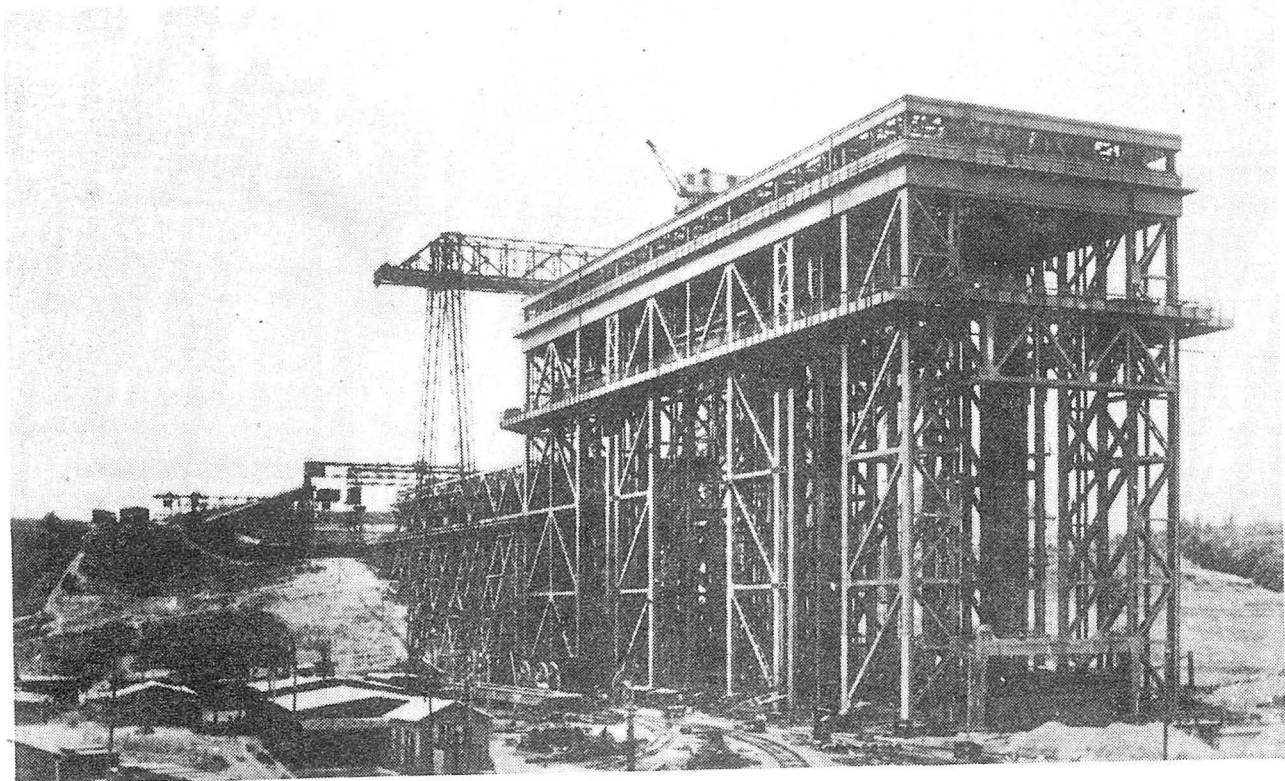
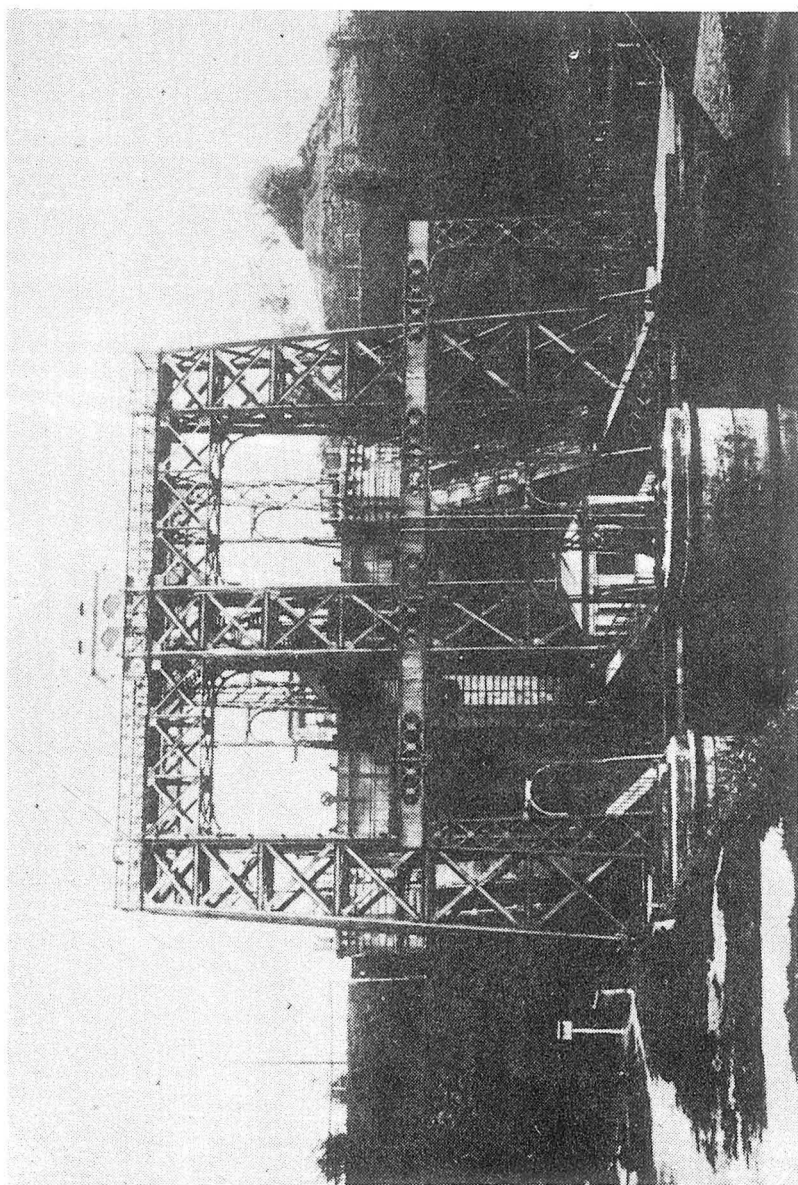
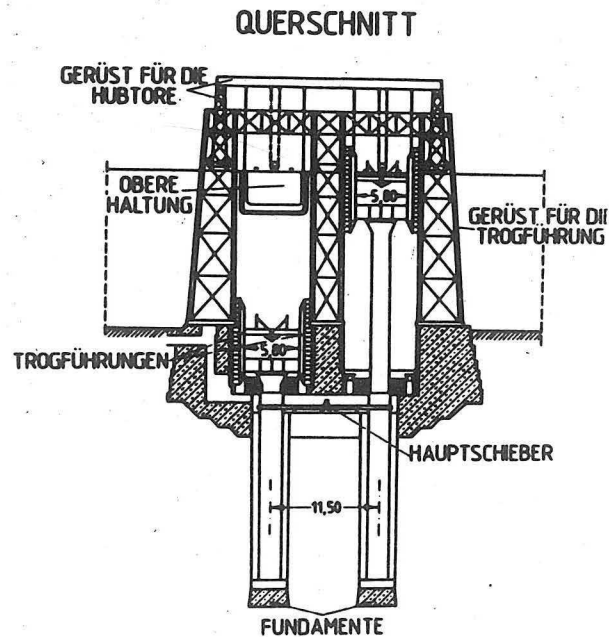
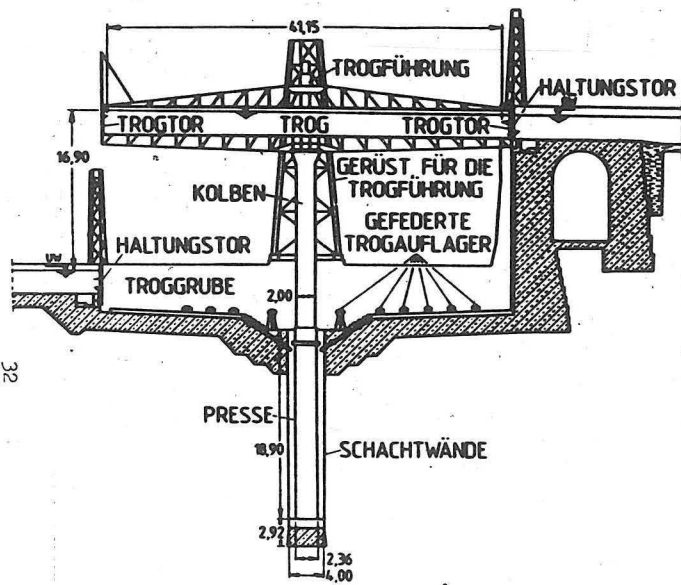


Bild 7:      Schiffshebewerk Niederfinow;    Bauzustand im August 1932

Bild 8: Druckwasserhebewerk Strépy-Bracquagnies  
(Inbetriebnahme 1919);  
Ansicht vom Unterwasser /14/



# LÄNGSSCHNITT





## 5. Schwimmer-Hebewerk Magdeburg-Rothensee

Das im Oktober 1938 in Betrieb genommene Schiffshebewerk Magdeburg-Rothensee verbindet den Mittellandkanal mit der Elbe. Der zu überwindende Höhenunterschied beträgt bei Mittelwasser etwa 16 m und schwankt je nach Wasserstand der Elbe zwischen 11 und 18 m. Wenn auch nicht in solcher Breite wie für die Anlage in Niederfinow, so liegt doch auch für das Hebewerk Rothensee eine Anzahl von Publikationen über die Konstruktion und den Bau desselben vor /15/. Die Trogabmessungen entsprechen denen in Niederfinow. Aus Bild 10 sind die Hauptbestandteile und -abmessungen ersichtlich. Nachfolgend werden in gedrängter Form nur einige Betriebserfahrungen dargelegt.

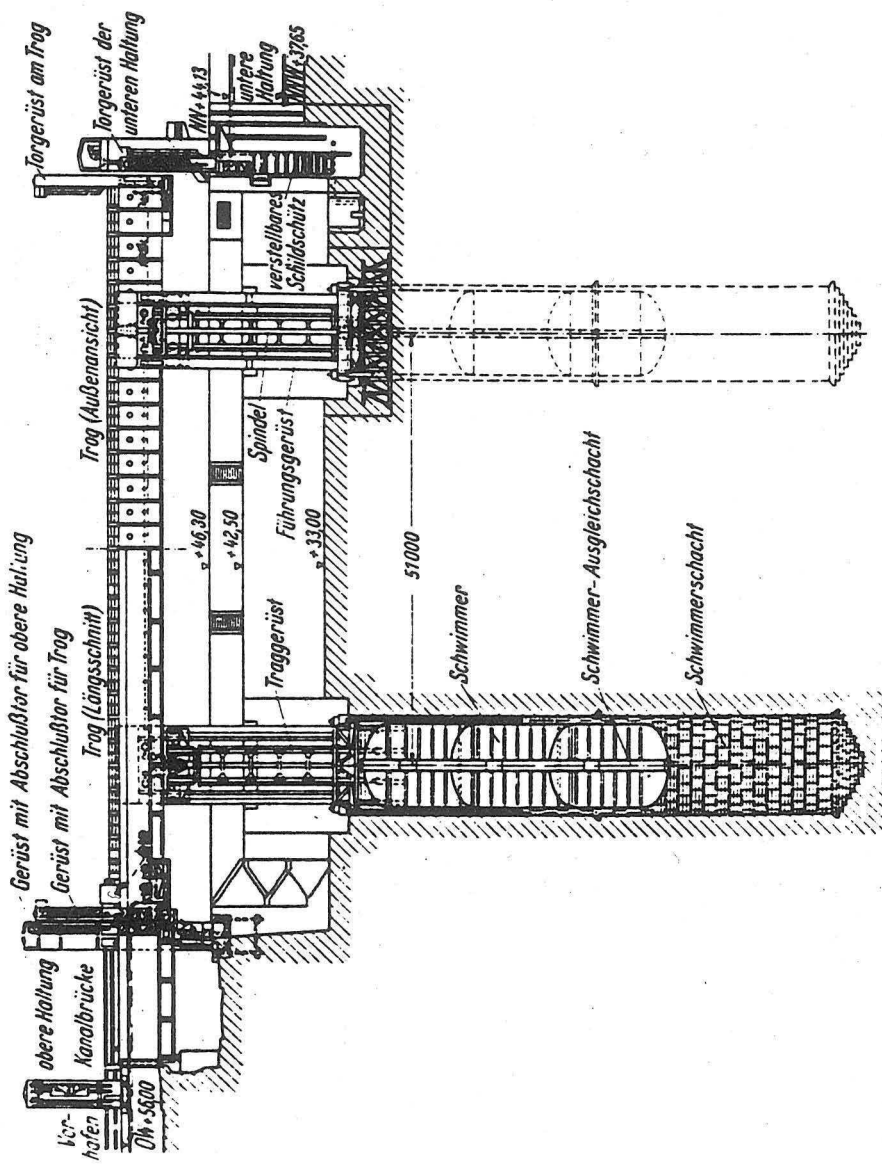
Im Oktober 1978 war das Hebewerk 40 Jahre nahezu störungsfrei im Betrieb, und 1979 wurde die 500.000ste Trogfahrt durchgeführt. Zahlreiche in den letzten Jahren durchgeführte Rekonstruktionsmaßnahmen, eine moderne Beleuchtung des Trogas und der Vorhäfen sowie optische und akustische Signalanlagen gewährleisten eine sichere Betriebsführung. Das Betriebspersonal - wie in Niederfinow 5 Fachkräfte je Schicht - hat durch intensive Pflege- und Instandsetzungsmaßnahmen sowie durch Neuerungen zur Erhöhung der Betriebssicherheit beigetragen.

Aus einer Analyse über die Zuverlässigkeit des Hebewerkes im Zeitraum 1951 - 1978 geht hervor, daß die Ausfallzeit 2,67 % beträgt. Dieser Wert gliedert sich auf in die nachfolgend genannten Ausfallursachen:

- 1,55 % witterungsbedingt (Eissperre im Kanal);
- 0,60 % Versetzen des Schildschützes;
- 0,52 % technische Störungen.

Auf die Anzahl der beförderten Fahrzeuge bezogen wurden bisher folgende Spitzenwerte erreicht:

- 79 Schiffe an einem Tag;
- 474 Schiffe in einer Woche;
- 1.999 Schiffe in einem Monat;
- 19.376 Schiffe in einem Jahr.



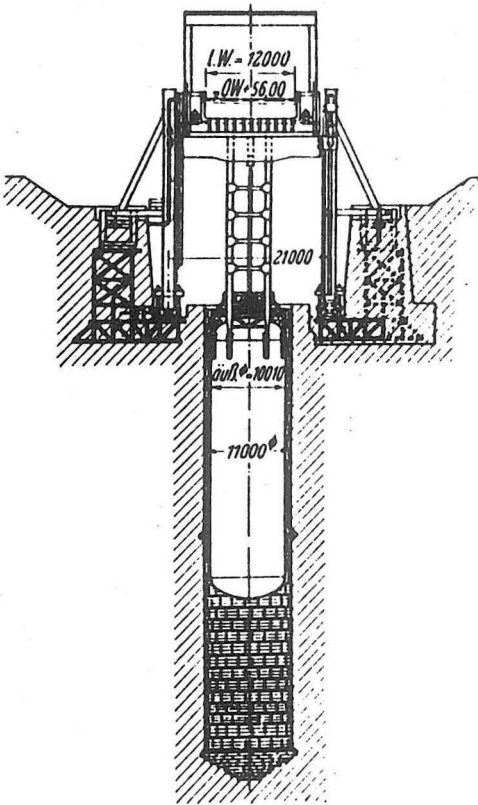


Bild 10: Schwimmer-Hebewerk Magdeburg-Rothensee /2/

Diese Leistungen zeugen mit von der gewissenhaften Instandhaltung der Gesamtanlage. Bisher konnte der Betrieb ohne Generalreparatur durchgeführt werden. Damit hat sich das Schwimmer-Hebewerk Magdeburg-Rothensee als betriebssichere und leistungsfähige Anlage bewährt.

Für die weitere Entwicklung des Baus von Schiffshebewerken lassen sich aus den Betriebserfahrungen neue Lösungen bedingende Fragen ableiten, wie:

- Schutz der Spindeln vor Verunreinigung;
- Versetzen des Schildschützes;
- Eisüberlast der Trogtore.

Bild 11 zeigt eine Graphik über die Strukturentwicklung der Binnenschifffahrt am Schiffshebewerk Magdeburg-Rothensee. Diese Tendenz ist zwar allgemeiner Art; der Hinweis darauf soll jedoch veranschaulichen, mit welchen Veränderungen im Laufe des Betriebs eines Bauwerkes mit einer derart langen Lebensdauer wie bei einem Schiffshebewerk oder auch einer Schleuse zu rechnen ist, die Auswirkungen auf die gesamte Betriebstechnologie haben.

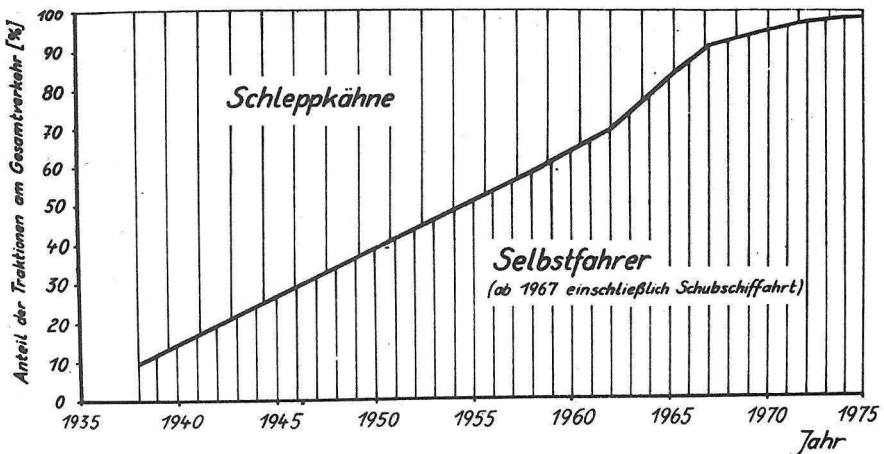


Bild 11: Strukturentwicklung der Binnenschifffahrt am Schiffshebewerk Magdeburg-Rothensee /15/

## 6. Forschungs- und Versuchsarbeiten

KUHN stellt fest, "daß das Hebewerk in Wirklichkeit eine große Maschine ist, deren Hauptteile der raschen Entwicklung der Maschinen- und Elektrotechnik unterworfen sind. Die Entwicklung neuer Hebewerke ist daher zu einem großen Teil dem Verkehrswasserbauer aus den Händen genommen; ihm fällt im wesentlichen die Wahrung der Schifffahrts- und Betriebsinteressen zu" /12/. Im Rahmen seiner Darstellung werden daher "neben den zuletzt genannten Gesichtspunkten nur die Hauptkonstruktionsprinzipien angesprochen unter Verzicht auf die vielen interessanten Einzelheiten".

Tatsächlich sind viele Details der Entwicklung und des Entwurfs von Schiffshebewerken maschinentechnischer Art. Die Lösung vieler Detailfragen ermöglicht letztlich erst die funktionstüchtige Gestaltung einer solchen großen und komplexen Anlage. Für das Schiffshebewerk Niederfinow z. B. wurden außer den langjährigen Variantenuntersuchungen u. ä., die zum großen Teil selbst den Charakter von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten hatten, zahlreiche Versuche sowohl als Teile dieser Arbeiten wie auch für Erprobungen von Materialien und Bauelementen, für Bodenuntersuchungen usw. in den Lieferwerken, in speziellen Versuchsanstalten und auf der Baustelle durchgeführt. Darüber wurde seinerzeit in der Fachliteratur ausführlich berichtet. Für die weiteren modernen Schiffshebewerke gilt ähnliches. Im Sinne der oben zitierten Feststellungen von KUHN wird hier nur auf einige einschlägige Forschungs- und Versuchsarbeiten verkehrswasserbaulicher Natur, insbesondere des wasserbaulichen Modellversuchswesens, eingegangen. Auch diese gehören zu den "vielen interessanten Einzelheiten", die erst im Zusammenspiel das reibungslose Funktionieren ermöglichen, wegen ihrer Fachspezifik jedoch oft nur einem engeren Kreis bekannt sind. Die Ergebnisse derartiger Untersuchungen werden nur selten ausführlich publiziert - und dann meist in Schriftenreihen der Institute u. ä. mit einem ebenfalls begrenzten Leserkreis.

So wurde in /16/ und /17/ über Versuche der ehemaligen Berliner Versuchsanstalt über das Einschleppen von Schiffen in Schleusenammern und Tröge von Schiffshebewerken berichtet. Solche Versuche sind damals wohl erstmalig durchgeführt worden. Sie dienten vor allem der Planung des Schiffshebewerkes Rothensee. An Hand einiger Naturversuche an Schleusen wurden dabei auch Betrachtungen über die Übertragbarkeit der Modellversuche auf die Großausführung angestellt.

Außer dem in 4.3. behandelten, z. Z. im Bau befindlichen Gegengewichtshebwerk Strépy-Thieu wurde in Belgien bereits Ende der 60er Jahre ein modernes Schiffshebwerk in Form der längsgeneigten Ebene (Schrägaufzug) bei Ronquieres für einen Höhenunterschied von 68 m und Schiffe bis zu 1350 t Tragfähigkeit errichtet /18/. Bei diesem Hebwerktyp kommt es beim Transportvorgang infolge von Beschleunigungen und Verzögerungen zu Wasserspiegelbewegungen einschließlich Schwingungen der Wassermasse im Trog. Daraus resultieren wechselnde Kraftwirkungen auf Bauteile sowie Bewegungen der transportierten Schiffe, die durch Trossen festgelegt werden müssen. Insgesamt sind dies ziemlich komplizierte hydrodynamische Vorgänge, die für die bis dahin größte derartige Anlage von erheblicher Bedeutung waren und daher sehr eingehend untersucht wurden. Außer theoretischen Untersuchungen erfolgten wasserbauliche Modellversuche, bei denen Wasserspiegelbewegungen sowie Trossenkräfte gemessen und in deren Ergebnis ein geeignetes Befestigungssystem entwickelt wurde /19/. Eine anschauliche Darstellung dieser Probleme findet sich in /4/. Im Sinne der eingangs dieses Abschnitts zitierten Feststellungen von KUHN, repräsentieren diese hydrodynamischen Vorgänge die wasserbauliche Spezifik und sind das Bindeglied zwischen den funktionellen Anforderungen, wirkenden Kräften und bautechnischen Lösungen. Für das Schiffshebwerk Strépy-Thieu wurden im Wasserbaulaboratorium des belgischen Ministeriums der öffentlichen Arbeiten in Chatelet sowohl hydraulische Modellversuche als parallel dazu auch Untersuchungen an einem mathematischen Modell durchgeführt /20/. Untersucht wurden vor allem die Schiffsverkehrsbedingungen in den Trögen der Kanalbrücke und des Hebwerkes selbst, sowohl für normale Betriebsbedingungen als auch für Havariesituationen. Ziel der Untersuchungen war u. a. die Bemessung eines Stoßschutzbalkens für die Tore. In einem Modell im Maßstab 1 : 25 erfolgten Versuche mit verschiedenen Schiffstypen bei unterschiedlichen Tiefgängen, wobei die Schiffsmodelle einmal an einem Draht geführt und geschleppt sowie in einer weiteren Versuchsserie mit Eigenantrieb durch Propeller ausgestattet wurden. Untersucht bzw. gemessen wurden das Verhalten des Propellerstrahls im engen Trogquerschnitt, die Trimmlage und die Geschwindigkeit des Schiffes, die Ruderwirkung, die Ausbildung von Wellenfronten, die Rückstromverteilung u. ä. Unter Einbeziehung des mathematischen Modells, welches auf der Charakteristiken-Methode basierte, wurden Maßstabseinflüsse abgeschätzt.

In der FAS sind in den zurückliegenden Jahren ähnliche Modellversuche durchgeführt worden, wie in den vorstehenden Abschnitten angeführt. Anknüpfend an

die früheren Versuche /16/, /17/ wurden Auswirkungen veränderter Schiffahrtsbedingungen, wie sie u. a. auch Bild 11 veranschaulicht, untersucht. Ferner erfolgten modellmäßige Untersuchungen der Wirkung von Bremsvorrichtungen zur Verminderung der Schiffsgeschwindigkeit vor den Toren von Schleusen bzw. Hebewerken, deren Anlaß aus der Einführung der Schubschiffahrt mit veränderten Betriebsbedingungen resultierte. Des weiteren wurden Versuche zur Eisdruckproblematik auf Kanalbrücken durchgeführt. Über die Ergebnisse verschiedener der vorstehend genannten Untersuchungen wird an anderer Stelle ausführlicher berichtet.

## 7. Schlußbemerkungen

In der neueren Fachliteratur - z. B. /4/, /12/, /13/ - wird weitgehend übereinstimmend die Ansicht vertreten, daß Schiffshebeanlagen Sonderbauwerke sind, die den lokalen Gegebenheiten weitestgehend angepaßt werden, so daß bei deren Konzipierung in jedem Fall die örtlichen Verhältnisse ausschlaggebend sind /21/. In /13/ z. B. wollte ILLIGER "einige Gesichtspunkte aufzeigen, die bei der Planung von Bauwerken zur Überwindung großer Höhenunterschiede zu beachten sind. Es sollte gezeigt werden, daß die Bauwerkform von einer Vielzahl technischer, wirtschaftlicher und landesplanerischer Probleme beeinflusst wird". Abschließend kommt er zu der Feststellung, daß "für die Überwindung großer Höhenunterschiede keine allgemein gültigen Normen für die Bauwerkformen ... festgelegt werden (können), vielmehr ist von Fall zu Fall zu prüfen, welche Lösung unter den gegebenen Verhältnissen die zweckmäßigste ist".

Unter Berücksichtigung der Formulierung von KUHN, derzeit Leiter der PIANC-Kommission für das Studium von Schiffsschleusen und -hebewerken, daß es schwierig ist, "zu einer Philosophie der Hebewerke, einer Systematik der Entwicklung von Hebewerktypen zu gelangen" /12/, möchte der Autor darauf verzichten, die abschließenden Bemerkungen zum vorliegenden Beitrag definitiv als Schlußfolgerungen zu bezeichnen. Ähnlich wie seinerzeit durch ILLIGER, sollten mit dem Beitrag nur einige Gesichtspunkte dargelegt werden, die für Bau und den Betrieb moderner Schiffshebewerke von Bedeutung sind. Er basiert vorwiegend auf einer vergleichenden Darstellung der neueren Gegengewichtshebewerke in Verbindung mit Betriebserfahrungen vom Schiffshebewerk Niederfinow - der Anlage, mit welcher vor über einem halben Jahrhundert praktisch der moderne Hebewerkbau eingeleitet wurde. Je mehr Schiffshebewerke

gebaut und betrieben wurden, was in den letzten Jahrzehnten der Fall ist, und je länger die auswertbare Betriebszeit wird, um so eher wird es möglich sein, auch zu verallgemeinernden Hinweisen zu kommen. Über einige im Beitrag versuchte Wertungen oder Einschätzungen hinaus, soll die nebeneinanderstehende Darstellung verschiedener neuer Hebewerke für sich sprechen und auf diese Weise vielleicht einen Mosaikstein zu einer Philosophie oder Systematik der Schiffshebewerke oder auch zu dem Anliegen der o. g. PIANC-Kommission liefern, Lehren aus dem Betrieb bestehender Hebewerke abzuleiten und eventuelle Empfehlungen auf Grund vorliegender Erfahrungen zu formulieren.

In diesem Sinne werden nachstehend nur einige Überlegungen herausgestellt bzw. zur Diskussion angeboten, die aus den vorausgegangenen Betrachtungen abzuleiten sind. Dabei steht im Vordergrund die entscheidende und auch zu verallgemeinernde Frage der Betriebssicherheit.

#### 1. Zur Betriebssicherheit

Bei PARTENSKY /4/ heißt es dazu: "Schiffshebewerke, gleich welcher Bauart, stellen ... wegen ihres konstruktiven und maschinentechnischen Aufwandes gegenüber Schiffschleusen stets Anlagen dar, deren Betrieb und Wartung ein höheres Maß an technischer Verantwortung erfordert und deren Störanfälligkeit gegenüber Schleusenanlagen höher einzuschätzen ist. Dies ist sicherlich der Hauptgrund dafür, daß Schiffshebewerke bis heute nur in einigen Ländern zur Ausführung gelangten". KUHN /12/ formuliert seinen Standpunkt wie folgt: "Hinsichtlich der Betriebssicherheit kann die Schleuse, ein robustes massives Bauwerk, als zuverlässig angesprochen werden. Aber auch eine Reihe von Hebewerken haben jahrzehntelang ihren Dienst ohne wesentliche Störungen geleistet, teilweise allerdings nach Überwindung unvermeidlicher anfänglicher Schwierigkeiten, die wohl in vielen Fällen durch Neuerungen verursacht worden sind ... Die ... Forderung nach einer robusten Bauweise im Verkehrswasserbau gilt auch und ganz besonders für die konstruktive, maschinelle und elektrische Ausrüstung von Hebewerken; ... ausgehungerte Entwürfe sind hier nicht am Platz." ILLIGER hatte bereits 1971 geschrieben /13/: "Als weiterer Vorteil wird allgemein angesehen, daß eine Schleuse weniger störanfällig ist als ein Hebewerk ... Die Erfahrungen mit dem Hebewerk Henrichenburg (Schwimmerhebewerk am Dortmund-Ems-Kanal/BRD) in den letzten Jahren zeigen aber, daß auch ein Hebewerk nicht als störanfälliger angesehen werden muß als eine Schleuse."



Die Betrachtungen im vorliegenden Beitrag betreffen schwerpunktmäßig Gegengewichtshebwerke. Sie beinhalten keinen Vergleich mit anderen Hebewerkarten, sondern sollen vor allem mit diesem Bauwerktyp gewonnene Erfahrungen vermitteln. Auf Grund derselben kann ein Gegengewichtshebwerk prinzipiell als betriebs-sicheres Bauwerk eingestuft werden. Am Beispiel des Gegengewichtshebwerkes Niederfinow hat dies der langjährige Leiter des Wasserstraßenamtes Eberswalde, O. BERG, zu dessen Bereich diese Anlage gehörte, nach seinerzeit rd. 35 Betriebsjahren wie folgt formuliert: "Dank des sehr sorgfältig ausgearbeiteten Entwurfs, der in erstklassiger Qualität erfolgten Bauausführung und sehr guten laufenden Unterhaltung, muß das Hebewerk Niederfinow als ein in jeder Hinsicht zweckmäßiges und betriebssicheres Bauwerk bezeichnet werden. Es hat sich in der Praxis glänzend bewährt ... Viele Fachexperten des In- und Auslandes haben der Wasserstraßenverwaltung ihre Anerkennung und Bewunderung dahingehend ausgesprochen, daß die Lösung dieser technisch ganz außerordentlich großen Aufgabe in so vorbildlicher Weise gelungen ist" /22/. Inzwischen ist das Schiffshebwerk Niederfinow - als ältestes der modernen Hebewerke - nunmehr über 50 Jahre in Betrieb, und die seither gewonnenen Erfahrungen stützen die obige Einschätzung. Am Beispiel des Schwimmer-Hebwerkes Magdeburg-Rothensee ist ebenfalls festzustellen, daß es sich als betriebssicheres und leistungsfähiges Bauwerk bewährt hat. Diese Erfahrungen und Einschätzungen präzisieren die oben zitierten Hinweise von PARTENSKY, KUHN und ILLIGER zur Betriebssicherheit von Schiffshebwerken im Vergleich zu Schiffsschleusen. Gleichzeitig bestätigten sie die von den vorstehend genannten Autoren getroffenen Feststellungen bezüglich robuster Bauweise sowie hoher technischer Verantwortung bei Betrieb und Wartung als Grundvoraussetzungen für die Betriebssicherheit.

## 2. Zur Hubhöhe

Durch Senkrechthebwerke mit Naßförderung und Gegengewichtsausgleich können sowohl technisch als auch ökonomisch günstig und in architektonisch befriedigender Weise große Höhenunterschiede überwunden werden (z. Z. bis 75 m in Realisierung).

## 3. Zum wasserbaulichen Modellversuchswesen

Hydraulische Modellversuche sind neben anderen vielfältigen Forschungs- und Versuchsarbeiten integrierender Teil der Entwicklung und Projektierung leistungsfähiger, funktionstüchtiger Schiffshebwerke. Nur die Nutzung aller

verfügbaren Hilfsmittel bzw. Untersuchungsmethoden führt bei der Komplexität dieser Anlagen zu angenähert optimalen Lösungen. In ähnlicher Weise können hydraulische Modellversuche genutzt werden, um den Betrieb bestehender Anlagen in bestimmten Grenzen leistungsfähiger zu gestalten (z. B. durch Veränderungen von Wasser- und Tauchtiefen, Errichtung von Treideleinrichtungen, Festlegung veränderter Betriebsregime u. ä.).

Der vorliegende Beitrag verdankt seine Entstehung sowohl der Tätigkeit der PIANC-Arbeitsgruppe für Schiffshebewerke als auch dem 50jährigen Jubiläum des Schiffshebewerkes Niederfinow und der damit verbundenen Einschätzung der Betriebserfahrungen. Die im Beitrag verarbeiteten Fakten und teilweise auch Wertungen gehen - der Natur der Thematik entsprechend - über den engeren Arbeits- und Erfahrungsbereich des Autors hinaus; er mußte sich u. a. auf Darstellungen von Fachkollegen stützen, die in jahrelanger Arbeit mit der Wartung und dem Betrieb der Anlagen, bei der Durchführung von Projektierungs- und Entwicklungsarbeiten usw. die Voraussetzungen schufen, den vorliegenden Erfahrungsfundus zusammenzustellen. Dafür sei an dieser Stelle allen, die daran Anteil hatten, herzlich gedankt.

## 8. Literatur

- / 1/ ROTHMUND, J.: Die Schleuse ohne Wasserverbrauch. "Die Bautechnik", 28 (1951) 6, S. 136 und 7, S. 157.
- / 2/ DEHNERT, H.: Schleusen und Hebewerke. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1954.
- / 3/ PRESS, H.: Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen. Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin (West) 1956.
- / 4/ PARTENSCKY, H.-W.: Binnenverkehrswasserbau - Schiffshebewerke. Springer-Verlag, Berlin (West) 1984.
- / 5/ DONAU, H.;  
SCHRÖDER, D. und  
TZSCHUKE, H. P.: Des écluses de faible hauteur aux ouvrages de franchissement des grandes chutes.  
(Von Schleusen mit kleinen Hubhöhen zu Bauwerken für die Überwindung großer Höhen.)  
In: Centenary of the PIANC, 1885 - 1985; Brüssel 1985.

- / 6/ GLAZIK, G.: Der 26. Internationale Schiffahrtskongreß 1985 in Brüssel - 100 Jahre PIANC - 100 Jahre internationale Zusammenarbeit zur Entwicklung von Schiffahrt und Verkehrswasserbau. "Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schiffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau", Heft 48, Berlin 1985.
- / 7/ STRAUBE, CH.: Die Generalreparatur des Schiffshebewerkes Niederfinow im Zeitraum 1984/1985. "Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schiffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau" (siehe vorliegendes Heft).
- / 8/ VÖLTER, J.: 50 Jahre Schiffshebewerk Niederfinow "Binnenschiffahrt", 27 (1984) 6 bis 10.
- / 9/ DIETRICH, E.: Das älteste deutsche Schiffshebewerk bei Halsbrücke und der Kanal von Großschirma nach Halsbrücke. "Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen Dresden" 13 (1966) 3.
- /10/ HENTZE, J.: Wasserbau. Teil 2, 9. Auflage B. G. Teubner-Verlagsgesellschaft, Leipzig 1950.
- /11/ PRÜSSMANN: Vergleichung von Schleusen und mechanischen Hebewerken. "Zeitschrift für Bauwesen", Jahrgang 1905, S. 500 ff.
- /12/ KUHN, R.: Binnenverkehrswasserbau. Verlag Ernst und Sohn, Berlin (West) 1985.
- /13/ ILLIGER, J.: Schleusen und Hebewerke zur Überwindung großer Höhenunterschiede im Zuge von Wasserstraßen. "Zeitschrift für Binnenschiffahrt und Wasserstraßen"; Jahrgang 1971, Heft 2, S. 38.
- /14/ L'ascenseur de Strépy-Thieu. Ministère des Travaux publics, Brüssel 1985.

- /15/ GARZ, H.: Schiffshebewerk Rothensee.  
Herausgegeben von der DEWAG Magdeburg  
in Zusammenarbeit mit der Hauptver-  
waltung der Wasserstraßen und der  
Binnenschifffahrt im Ministerium für  
Verkehrswesen, 1977.
- /16/ KIEHNEL, H.: Über Widerstände und Fahrzeiten beim  
Einschleppen von Schiffen in Schleusen.  
"Mitteilungen der Preussischen Ver-  
suchsanstalt für Wasserbau und Schiff-  
bau", Heft 24, Berlin 1936, S. 4
- /17/ AMTSBERG, H.: Modellversuche über das Einschleppen  
von Kanalkähnen in den Trog eines  
Schiffshebewerkes.  
"Mitteilungen der Preussischen Ver-  
suchsanstalt für Wasserbau und Schiff-  
bau", Heft 24, Berlin 1936, S. 84.
- /18/ Plan incliné de Ronquières.  
Ministère des Travaux publics,  
Brüssel 1985.
- /19/ Laboratoire de Recherches Hydrauliques.  
Borgerhout 1985.
- /20/ Laboratoire Hydraulique de Chatelet.  
PIANC, Brüssel 1985.
- /21/ DIETRICH, E.: Beitrag zur Bestimmung der zweckmäßig-  
sten Schiffshebeanlage für die Über-  
windung großer Höhen an Binnenschiff-  
fahrtskanälen unter besonderer Berück-  
sichtigung der Hubgeschwindigkeiten.  
Dissertation, Fakultät für Verkehrs-  
wasserbauwesen der Hochschule für Ver-  
kehrswesen "Friedrich List", Dresden  
1964.
- /22/ BERG, O.: Das Schiffshebewerk Niederfinow.  
Herausgegeben von der URANIA, Gesell-  
schaft zur Verbreitung wissenschaft-  
licher Kenntnisse, Eberswalde 1968.

# Generalreparatur des Schiffshebewerkes Niederfinow im Zeitraum 1984/1985

Dr.-Ing. C. Straube KDT

## 1. Vorgeschichte der Generalreparatur

Das Schiffshebewerk Niederfinow, nach umfangreichen Voruntersuchungen und Vorarbeiten in den Jahren 1927 bis 1934 errichtet, verkörpert eine der imposantesten und wichtigsten ingenieurtechnischen Leistungen auf dem Gebiet des Verkehrswasserbaus aus der 1. Hälfte des 20. Jahrhunderts. Seine ausgezeichnete Planung und solide Ausführung genießen weltweit in Fachkreisen einen guten Ruf. In Verbindung mit vorbildlichen Pflege- und Instandhaltungsarbeiten in den vergangenen Jahrzehnten wurde eine 50jährige fast störungsfreie Betriebszeit erreicht, während der annähernd 500 000 Trogfahrten gezählt wurden.

Um den natürlichen Verschleiß zu erfassen und nähere Aufschlüsse über die zukünftig zu erwartende Lebensdauer zu erhalten, berief das Ministerium für Verkehrswesen der DDR 1979 eine Gutachterkommission und beauftragte sie, den technischen Zustand des Schiffshebewerkes zu erfassen und Empfehlungen für die Erhaltung eines möglichst störungsfreien Betriebsablaufes zu erarbeiten. Der Untersuchungsbericht wurde Ende 1980 vorgelegt und enthielt detaillierte Vorschläge und Empfehlungen für notwendige Arbeiten zur Gewährleistung einer künftigen Betriebssicherheit des Schiffshebewerkes, die über den Rahmen einer laufenden Instandhaltung hinausgingen.

Nach Klärung von Detailfragen faßte im Oktober 1982 das Präsidium des Ministerrates der DDR den Beschluß zur komplexen Generalreparatur des Schiffshebewerkes Niederfinow. Die Grundsatzentscheidung wurde am 3. 10. 1983 durch den Minister für Verkehrswesen bestätigt. Die Arbeiten zur Generalreparatur begannen vor Ort im Frühjahr 1984, die Hauptphase mit der Sperrung des Schiffshebewerkes für den Schiffsverkehr lag in der Zeit von Oktober 1984 bis April 1985. Am 25. April 1985, sechs Tage früher als geplant, gab der Stellvertreter des Ministers für Verkehrswesen dem Kanalschubschiff BR SCH 2402 mit zwei Kiesprahnen als erstem Schiffsverband nach der Generalreparatur die Einfahrt frei.

## 2. Beschreibung des Schiffshebewerkes mit den wichtigsten technischen Daten - Stand 1934

Das Schiffshebewerk Niederfinow liegt im Zuge des Oder-Havel-Kanals bei km 77,8. Es ist vom Typ her ein senkrecht arbeitendes Gegengewichtshebewerk mit Naßförderung. Die Gesamtanlage des Hebewerkes ist in vier Teile aufgliedert:

- Oberhafen mit Abschluß- und Sicherheitstor;
- Kanalbrücke vom Oberhafen zum Hebewerk;



Bild 1      Ansicht des Schiffshebewerkes, vom unteren Vorhafen aus gesehen. Im Vordergrund demontierte Trogseile

- Eigentliches Hebewerk;
- Unterhafen, rund 36 m tiefer liegend.

Der Oberhafen hat eine Länge von 1200 m und eine Wasserspiegelbreite von 66 m. Die Länge der stählernen Kanalbrücke beträgt rund 157 m. Das eigentliche Hebewerk wird zweckmäßig in die nachfolgend genannten Baugruppen unterteilt:

- Hebewerkgerüst;
- Gründung;
- Schiffstrog mit Trogtoren und Trogverriegelungen;
- Abdichtung zwischen Kanal und Trog mit den Haltungenstoren;
- Seile und Gegengewichte einschließlich Gewichtsausgleichketten;
- Sicherungsvorrichtungen;
- Maschinelle Ausrüstung;
- Elektrotechnische Ausrüstung;
- Sonstige für den Betrieb bzw. Reparaturzustände erforderlichen Einrichtungen, wie Montagekran, Personenaufzüge, Rohrleitungen, Schieber, Betriebsräume.

Der Hebewerkstrog ist aus St 52 (entspricht der heutigen Stahlgüte H 52) hergestellt. Er hat eine

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| - nutzbare Länge  | von 85 m,         |
| - nutzbare Breite | von 12 m und eine |
| - Wassertiefe     | von 2,50 m.       |

Der Trog ist beiderseits durch Hubtore abgeschlossen. Er hat eine Leermasse von 1600 t; wassergefüllt wiegt er rund 4300 t. Er wird in Längs- und Quer- richtung durch feste Rollen geführt und in seinen Endstellungen durch Gegen- halter im waagerechten Sinne sowie den Haltungsabschlüssen verriegelt. Den Massenausgleich des gefüllten Troges besorgen 192 Gegengewichte aus Beton mit Eisenspänen, die durch vorgereckte Drahtseile von 52 mm Durchmesser mit dem Trog verbunden sind. Die Seile sind Rundlitzenseile in Gleichschlag, be- stehend aus 6 Litzen zu je 37 Drähten von 2,4 mm Durchmesser mit einer Hanf- seele. Die blanken Gußstahl-drähte hatten eine Bruchfestigkeit von 150 kg/mm<sup>2</sup> (= 1500 N/mm<sup>2</sup>). Je zwei Seile greifen an zwischengeschalteten Waagebalken an.

Weitere 64 Seile tragen Rahmen, die die Gegengewichte zu Gruppen zusammenfassen und etwa abreißende Gewichte auffangen. Die Drahtseile werden über 128 zweirillige, auf Wälzlagern laufenden Seilscheiben von 3,50 m Durchmesser geführt. Über jede Scheibe läuft je ein rechts- und ein linksgängiges Seil. Die Seilscheiben befinden sich in den das Bauwerk oben abschließenden Hallen. Zum Ausgleich für das Gewicht der ablaufenden Seile dienen 4 mitlaufende Gelenkketten, die einerseits unten am Trog, andererseits an Gegengewichten befestigt sind, und deren Gewicht dem der 256 Seile entspricht.

Die vier Antriebsritzeln werden durch vier Gleichstrommotoren von je 75 PS (= 55,1 kW) in Leonard-Schaltung angetrieben. Die erforderliche Gleichspannung wird von einem Umformer erzeugt. Umformer und Motoren befinden sich in zwei Maschinenräumen auf dem Trog. Die zahlreichen sonstigen Motoren werden aus dem Drehstromnetz gespeist. Die Hubgeschwindigkeit beträgt i. M. 12 cm/s, so daß ein Hub 5 Minuten erfordert.

Von den vier Gleichstrommotoren werden auch die sogenannten Drehriegel angetrieben. Das sind 1,4 m lange, am Trog gelagerte Schraubenspindeln mit 70 cm Kerndurchmesser, durch die sich bei erheblichen Gleichgewichtsstörungen der Trog unmittelbar auf das Gerüst abstützt. Sie laufen in geschlitzten Muttergewinden, die am Gerüst gelagert sind, den sogenannten Mutterbackensäulen. Sie berühren diese aber im Regelbetrieb nicht, sondern lassen stets einen beiderseitigen Spielraum von 30 mm frei. Die Antriebsritzeln sind auf einer Schwinde nach oben und unten federnd derart gelagert, daß sie in einer Mittellage festgehalten werden. Die Federn sind so vorgespannt, daß sie erst bei einer Gleichgewichtsstörung von 30 t (= 300 kN) je Ritzel nachgeben und anschlagen.

Dadurch wird unter entsprechender Vergrößerung der Federspannung der Spielraum der Drehriegel in dem Gewinde verkleinert und bei hinreichend großem Ausschlag vollständig überwunden; die Drehriegel lagern sich dann auf die Mutterbackensäulen auf und halten selbstsperrend den Trog fest. Zu diesem Zweck müssen die Mutterbackensäulen eine dem leergelaufenen Trog entsprechende aufwärts gerichtete Kraft von 2700 t (= 27000 kN) aufnehmen können. Durch rechtzeitiges, selbsttätiges Ausschalten der Antriebsmotoren erfolgt das Aufsetzen der Drehriegel stets in ruhendem oder nahezu ruhendem Zustand.



Das Stahlgerüst ist aus St 37 (entspricht der heutigen Stahlgüte St 38) hergestellt. Es ist insgesamt 60 m hoch, 94 m lang und 27 m breit und besteht aus aneinandergereihten, oben durch einen Windverband zusammengehaltenen Zweigelenkrahmen, die sich in 3 Teile (Türme) gliedern. Das Stahlgerüst trägt als Hauptlast die 128 Seilscheiben. Der Westturm enthält den oberen Haltungsabschluß und nimmt den oben auftretenden Wasserdruck auf. Der aus zwei Teilen bestehende Mittelturm trägt die Zahnstockleitern und die Mutterbackensäulen. Er ist gegen seitliche Schwingungen durch vier Streben gesichert.

Der schmale Ostturm trägt in Höhe der oberen Trogstellung einen erkerartig auskragenden kräftigen Prellbalken, der verhindert, daß das Tor etwa durch ein anfahrendes Schiff herausgestoßen wird, und der auch bei einem etwaigen Bruch der Verriegelung den Trog gegen Ausschwingen schützen soll.

Das nähere Eingehen auf technische Details würde den Rahmen dieses Beitrages sprengen. Interessenten sei empfohlen, Näheres in der Fachliteratur der 20er und 30er Jahre nachzulesen. Insbesondere sei genannt:

Das Schiffshebewerk Niederfinow

Sonderdruck aus der Zeitschrift "Die Bautechnik" sowie ihrer Beilage "Der Stahlbau", Jahrgang 1927 bis 1935, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin 1935.

### 3. Durchführung der Generalreparatur

#### 3.1. Spezielle Voruntersuchungen

Unmittelbar nach der Beschlußfassung zur Generalreparatur begannen die Arbeiten für die Erstellung der Vorbereitungsdokumente, speziell der Dokumentation zur Grundsatzentscheidung. Zur Absicherung der zu erarbeitenden verbindlichen Angebote wurde folgender Weg beschritten. Durch den Hauptauftragnehmer (HAN) Ausrüstung wurden Nachauftragnehmer (NAN) für verschiedene Spezialgewerke einbezogen. Durch Fachleute des HAN, der NAN, des Betreibers des Hebewerkes und anderer fachlich versierter Betriebe und Institutionen erfolgte ab Dezember 1982 bis März 1983 eine Begehung der einzelnen Bau- bzw.

Funktionsgruppen des Hebewerkes mit Aufnahme und Protokollierung von festgestellten Schäden, Verschleißerscheinungen und für notwendig erachteten Arbeiten. Über diese Schadensnahmen wurden 12 Protokolle angefertigt, und zwar für die Baugruppen bzw. Gewerke:

- Pumpen;
- Trogtragseile;
- Geber und Anzeigegeräte der Pegelanlagen;
- Pegelanlagen;
- Personenaufzüge;
- Rohrleitungen und Isolierungen;
- Stahlbau;
- Zentralschmieranlagen;
- Antriebe und maschinelle Ausrüstungen;
- Schieber;
- Kupplungen;
- Elektroanlagen.

Der Umfang der in den Protokollen aufgeführten, als notwendig erkannten Arbeiten bildete die Grundlage für die technische Bearbeitung und Abgabe verbindlicher Angebote durch die NAN. Zu erwähnen ist noch, daß auf eine komplette Bestandsdokumentation des Schiffshebwerkes zurückgegriffen werden konnte.

Die verbindlichen Angebote der HAN Ausrüstung und Bau und mehrerer vom Investitionsauftraggeber beauftragter Betriebe wurden in der Dokumentation zur Grundsatzentscheidung zusammengefaßt und nach Prüfung durch die staatlichen Stellen in entsprechend den Prüfergebnissen modifizierter Form dem Minister für Verkehrswesen zur Bestätigung vorgelegt.

Auf zwei spezielle Probleme in der Vorbereitungsphase sei hier etwas näher eingegangen, und zwar auf die Trogtragseile und die Seilscheibenlager. Nachdem bereits seit ca. 20 Jahren eine intensive Beobachtung der Seile erfolgte, wurde im Laufe der Voruntersuchungen zur Generalreparatur von den fachlich zuständigen Stellen (Technische Überwachung und Institut für Bergbausicherheit) die Ablegereife infolge Abrieb, Rostansatz, Drahtbrüchen und teilweise

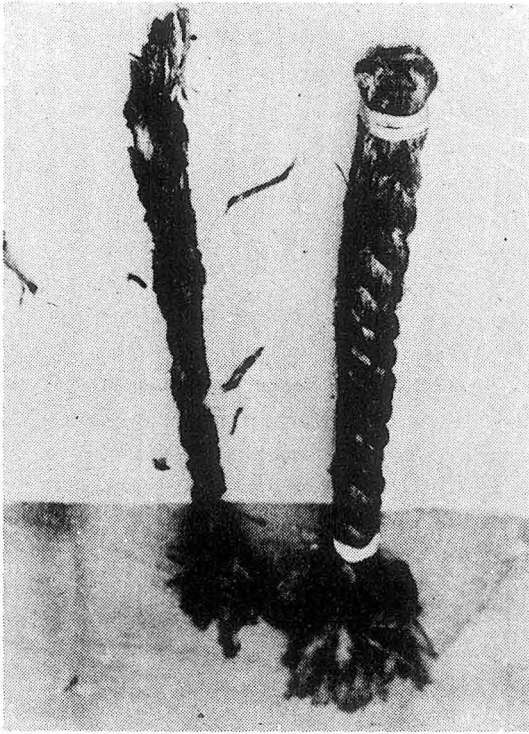


Bild 2      Vergleich der Hanfseele eines ca. 50 Jahre im Betrieb  
befindlichen Seiles (rechts) und eines unbenutzten  
Reserveseiles

"Korkenzieherbildung" durch Zerstörung der Hanfseele festgestellt. Die Seile waren immerhin fast 50 Jahre in ununterbrochenem Einsatz (Bild 2). Es mußte zunächst geklärt werden, ob gleichartige und gleichwertige Seile in der erforderlichen Zeit aus DDR-Produktion beschafft werden konnten. Dies ist durch konstruktive Zusammenarbeit zwischen dem IAG, dem HAN sowie den Betrieben VEB Draht- und Seilwerke Rothenburg/Saale, VEB Seilfabrik Zwickau und dem Institut für Bergbausicherheit, Leipzig gelungen. Die neuen Seildaten sind folgende:

- Nenndurchmesser	53 mm;
- Güte	verzinkt;
- Konstruktion	6 x 37 nach TGL 9541/04;
- Rechnerische Bruchlast	2550 kN;
- Schlagart	rechts (s/S, z/Z);
- Seele	Hanf;
- Zustand	spannungsfrei;
- Fettung	mit Seilschmierstoff 65 (Elaskon 20).

Nach der Fertigung und Prüfung von Versuchsdrähten erfolgte zunächst die Anfertigung von 10 Versuchsseilen à 15 m Länge, die im Institut für Bergbau-sicherheit den erforderlichen Tests unterzogen wurden. Die Versuchsergebnisse bestätigten alle erforderlichen Parameter und berechtigten zur Freigabe der Produktion für 276 ca. 60 m lange Seile (256 benötigte und 20 Reserveseile). Zu erwähnen ist noch, daß die Seile, wie auch schon beim Neubau des Hebewerkes, vor dem Einbau vorgereckt wurden.

Als zweites Problem seien die Seilscheibenlager angeführt. Diese Lager hatten bis zu den genannten Voruntersuchungen keinerlei Grund zu Beanstandungen gegeben. Bei den Untersuchungen wurde zunächst ein unzulässig hoher Säurewert im Schmierfett festgestellt, was zu der Festlegung führte, einen kompletten, 100 %igen Fettaustausch vorzunehmen. An einigen Lagern wurde eine geringe Vergrößerung des Spiels der Wälzlager festgestellt. Das ursprüngliche Lagerspiel betrug maximal 0,21 mm, gemessen wurde an einem Lager 0,3 mm, an mehreren anderen Lagern Werte zwischen den beiden genannten.

Eine zuverlässige Übersicht über eventuelle Schäden an den Wälzlagern hätte bei der großen Anzahl von Lagern zu einer unvertretbar langen Betriebsunterbrechung des Hebewerkes geführt. Es hat sich später auch gezeigt (siehe 3.3.7.), daß Stichproben keine zuverlässigen Ergebnisse geliefert hätten. Der Gesamtzustand der Lager erwies sich als durchaus noch gut, so daß beschlossen wurde, bei dem notwendigen Fettwechsel jedes einzelne Lager auf Schäden zu untersuchen und zu protokollieren sowie eventuelle Schäden zu beheben.

### 3.2. Bauzeit, Technologie und Bauablauf in ihren Abhängigkeiten

Von Anfang an stand fest, daß der Reparaturtechnologie entscheidende Bedeutung zukommen würde. Die Sperrzeit des Hebewerkes, in der die Hauptaktivitäten abgewickelt werden mußten, war mit 7 Monaten vorgegeben. Außer der Baustelleneinrichtung gab es nur wenige Aktivitäten, die vor der Sperrzeit erledigt werden konnten. Die den gesamten Reparaturablauf bestimmenden Aktivitäten waren nach Vorliegen der ersten Bauzeitdiagramme der Seilwechsel und der Fettwechsel in den Seilscheibenlagern. Dabei durfte jedoch nicht außer acht gelassen werden, daß auch die anderen Gewerke, wie z. B. der Stahlbau, der Maschinenbau und der Rohrleitungsbau bestimmte Ansprüche an die Baufreiheit und an die Stellung des Troges über einen längeren Zeitraum stellten. Da der komplette Fettwechsel der Seilscheibenlager aus technologischen und anderen Gründen nicht "vor Ort" auf der Seilscheibenbühne durchgeführt werden konnte, stand von vornherein fest, daß alle 128 Seilscheiben mit ihren Lagern herausgehoben und im Bereich der unteren Haltung behandelt werden mußten. Deshalb mußte auch vor der Außerbetriebsetzung der vorhandene Dachkran, dessen Einsatz und Tragkraft eingeschränkt waren, durch Einbau einer neuen Steuerkabine, einer neuen Verkabelung und dem Wechsel des Hubseiles wieder auf eine Tragfähigkeit von 60 kN gebracht werden. Die Aktivitäten für den Seilwechsel umfaßten zunächst (für jeweils 1 Seilscheibe mit 2 Seilen):

- 2 Seile an der Trog- und der Gegengewichtsseite lösen, demontieren und Seilhülsen ausschmelzen (ein sehr großer Teil der alten Seilhülsen wurde wiederverwendet);
- Seilscheibe mit 2 Lagern mittels Hebewerksdachkran auf Niveau der unteren Haltung setzen;
- Transport der Seilscheiben zum Reparaturplatz, Altfett entfernen, neues Fett einbringen, Lagerkontrolle, Rücktransport;
- Seilscheibe mit 2 Lagern einheben und montieren;
- 2 neue Seile auflegen, am Trog und am Gegengewicht montieren.

Für diese Aktivitäten wurden mehrere Varianten entwickelt, die nachfolgend vorgestellt werden:

#### Variante 1

Seilwechsel in 2 Etappen zu je 8 Gegengewichts-Doppelgruppen mit 64 Seilscheiben, 128 Seilen und 96 Gegengewichten.

#### Vorteile

- Kompakte Demontage und Montage sind in effektiver Weise möglich;
- Die Generalreparatur ist im Taktsystem möglich (Nord- und Südseite nacheinander). Der Dachkran muß nur einmal je Etappe umgesetzt werden;
- Es bieten sich günstige Platzverhältnisse und geräumige Arbeitsflächen.

#### Nachteile

- Die Variante ist von dem Nachweis abhängig, daß der Trog für den hierbei auftretenden Belastungsfall einsetzbar ist;
- Es sind 8 Stück Gegengewichts-Absetzgerüste erforderlich, um die Seile zu entspannen.

#### Variante 2

Seilwechsel in 2 Etappen zu je 16 Einzelgewichtsgruppen

Vorteile siehe Variante 1. Als zusätzliche Aktivität wäre das Trennen der Doppelgruppen-Führungsrahmen notwendig gewesen.

Nachteile siehe Variante 1. Eine geringere Standfläche für die Absetzgerüste war zu beachten.

#### Variante 3

Seilwechsel einzelner Seilscheiben, 128 Stück fortlaufend mit Gewichtsabsetzung in die sogenannte "Kleine Traverse" benachbarter Seile.

#### Vorteile

- Keine Absetzgerüste erforderlich.

## Nachteile

- Zusätzliche Aktivität je Seil:  
Vollständiges Gangbarmachen der Gegengewichtsspannbolzen als 1. Arbeitsgang (bei Variante 1 parallel möglich)  
und Gewichtsentlastung über anzufertigende Entlastungsvorrichtungen;
- Anfertigung von mindestens 6 bis 8 Arbeitsbühnen und ihre mehrmalige Umsetzung (sicherheitstechnisches Problem!);
- Die an Doppelrahmen außen liegenden Seile können ohne Abfangen des Rahmens nicht demontiert werden.
- Da die neuen Seile wahrscheinlich etwas kürzer sein würden als die alten (Seillängung), wären bei der Montage Zwischenstücke zur Einbindung in den Verband der alten Seile erforderlich geworden.
- Beengte Platzverhältnisse auf der Seilscheibenbühne (nur eine Seilscheibenbreite!), da nur jeweils jede 3., 4. oder 5. Seilscheibe ausgebaut werden kann.
- Für ca. 3 Monate muß für die Reparatur der Trogantriebe und der -elektrik der Trog wassergefüllt sein, da die Trogantriebe bei Demontage nicht mechanisch unter Gewichtsdruck auf den Ritzeln stehen dürfen. In dieser Zeit wären keine Arbeiten am Trog möglich gewesen (Rohrleitungen, Tore und Torführungen).

## Variante 4

Sie sah eine Kombination von Variante 1 und 3 vor. Da hierbei jedoch auch Absetzgerüste erforderlich waren, wurde diese Variante als uneffektiv nicht weiter verfolgt.

Nach vorausgegangenen Diskussionen und Vergleichen versprach die Variante 1 die größte Arbeitsproduktivität und damit auch die größte Gewähr, das vorgegebene Zeitlimit einzuhalten. Eine Nachrechnung des Troges für den dabei auftretenden Belastungsfall wurde erforderlich. Die Prämissen dabei waren folgende:

- Gesamtmasse des Troges einschließlich Restfüllung um die Hälfte reduziert, also 2150 t;

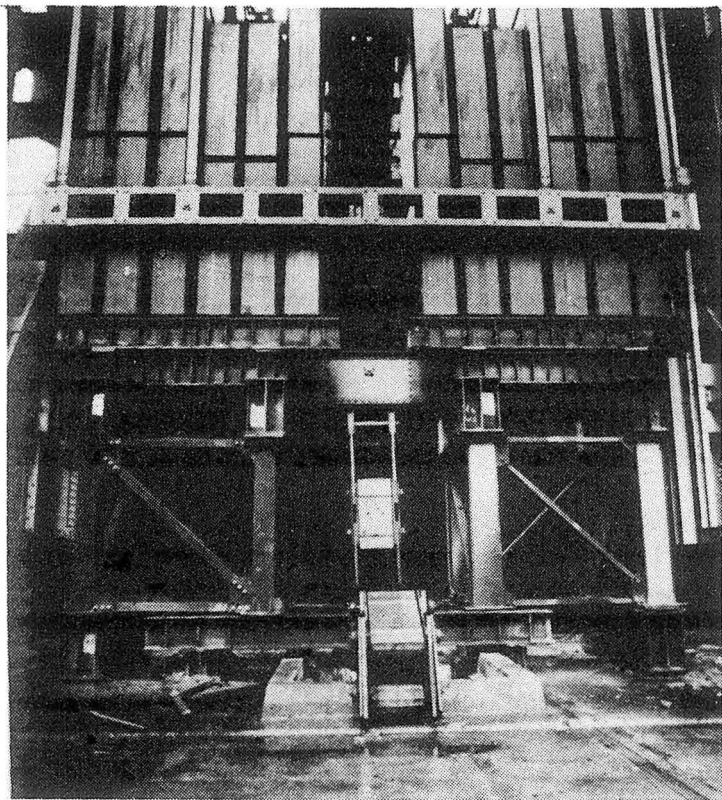


Bild 3 Absetzgerüst mit abgesetzter Gegengewichts-Doppelgruppe

- Aufhängung des Troges nur noch an der Hälfte der Seile (128 Stück), die in 8 Gruppen zusammengefaßt doppelsymmetrisch am Trog angreifen, unter Beachtung des Wechsels der Belastung in der 2. Etappe;
- Die Verfahrbarkeit des Troges mußte unter diesen Bedingungen gewährleistet bleiben.

Die im VEB Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau vorgenommene Berechnung ergab, daß auch unter Beachtung der Alterung des Stahls der Trog ausreichende Sicherheiten aufwies. Zum Absetzen der Gegengewichte wurden für den Stahlbrückenbau entwickelte Montagehilfskonstruktionen ver-



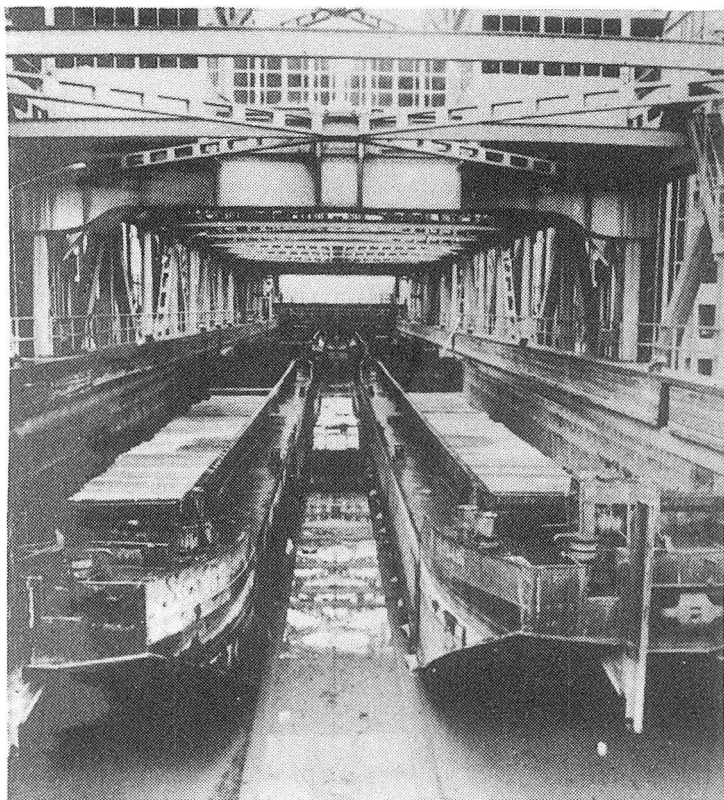


Bild 4 Im Trog auf Sandsäcke abgesetzte Prahme mit Betonballast

wendet, die in der Trogwanne mittels Autodrehkränen abgesetzt und durch Stapelträger auf die erforderliche Höhe justiert wurden (Bild 3). Um die Trogmasse von 2150 t zu erreichen, wäre eine Wasserfüllung von ca. 60 cm erforderlich gewesen. Davon wurde aber Abstand genommen, da

- die Reparaturzeit in das Winterhalbjahr fiel und bei Eisbildung eine zu starke Beanspruchung des Troges zu befürchten war sowie bei Trogfahrten keine exakte Austarierung möglich gewesen wäre.

- die Trogtore bei nur 60 cm Wasser nicht exakt dichten und außerdem unter dieser Voraussetzung keine Reparaturen an den Toren hätten vorgenommen werden können.

Das Problem wurde gelöst, indem in den Trog 4 Bauprahme mit genau bekannter Masse eingeschwommen und an berechneten Punkten abgesetzt wurden (Bild 4). Der Restmassenausgleich erfolgte mit Betonplatten, die mit dem Dachkran in die Schuten eingebracht wurden und später auch bei technologisch bedingten Gleichgewichtsstörungen für notwendige Trogfahrten umgesetzt werden konnten. Die Prahme wurden auf ca. 500 Sandsäcken abgesetzt, die über den Trogquerträgern ausgelegt worden waren, um eine unzulässige Beanspruchung des Bodenbleches zu vermeiden. Diese Maßnahmen zum Gewichtsausgleich haben sich während der Reparaturzeit voll bewährt. Auf der Grundlage der geschilderten Voruntersuchungen sah das Angebot des HAN Ausrüstung für die Generalreparatur des Hebewerkes folgenden Ablauf vor (hier stark vereinfacht wiedergegeben):

- a) Arbeiten vor der Sperrzeit des Hebewerkes;
- b) Erste Reparaturphase;
- c) Erste Trogfahrt;
- d) Zweite Reparaturphase;
- e) Zweite Trogfahrt;
- f) Dritte Reparaturphase.

Zu a)

Die Leistungen vor der Sperrzeit beinhalten im Wesentlichen die Baustrombereitstellung, die Verkabelungsarbeiten, einige Elektromontagen (vor allem für die Außenbeleuchtung), die Überholung des Hebewerkskranes, die Reparatur des Besucherumganges, die Demontage von Heizungsanlagen und Isolierungen, die Vormontage der Absetzgerüste für die Gegengewichtsgruppen sowie die gesamte Baustelleneinrichtung.

Zu b)

Die erste Reparaturphase war zeitlich vom 1. 10. bis 21. 12. 1984 eingeordnet. Sie umfaßte das Absetzen der ersten 8 Gegengewichtsgruppen, den Wechsel der ersten Hälfte der Trogtragseile und die notwendigen Arbeiten an der ersten Hälfte der Seilscheibenlager. Weiter waren in dieser Phase eingeordnet: die Überholung der Trogantriebe Nordost und Südost, Elektromontagen an den Hei-

zungsanlagen, am Umformer, an den Trogantrieben und an den elektrotechnischen Einrichtungen der oberen und unteren Haltung, die Erneuerung der Spaltfüll- und entleerungseinrichtung der oberen Haltung, die Erneuerung der senkrechten Restwasserabflußleitung, Arbeiten an verschiedenen Einrichtungen der Zentralschmierungsanlage, der Gerüstbau für Stahlbauarbeiten und Stahlbauarbeiten an den Andichtrahmen der oberen und der unteren Haltung.

Zu c)

Die sogenannte erste Trogfahrt dauerte vom 21. 12. 1984 bis 6. 1. 1985. Neben verschiedenen Restmontagen an den Haltungstorantrieben und der Erneuerung der Pegelleitungen war die Hauptaktivität in dieser Zeit das Umsetzen der Absetzgerüste und das Absetzen der zweiten Gegengewichtsgruppen. Der Trog wurde aus diesem Grund wieder gefüllt und in die erforderlichen Stellungen verfahren. Zum Absetzen der Gegengewichte wurde er wieder entleert und die oben genannten 4 Bauschuten an ihren neuen Standorten abgesetzt.

Zu d)

Die zweite Reparaturphase war vom 7. 1. 1985 bis 29. 3. 1985 eingeordnet. Sie umfaßte den Wechsel der zweiten Hälfte der Trogtragseile und die Arbeiten an der zweiten Hälfte der Seilscheibenlager. Weitere Arbeiten in diesem Zeitraum waren: Der Gerüstbau, Stahlbauarbeiten an den Trogtoren, Arbeiten an der Zentralschmierungsanlage, Erneuerung der Trogfülleleitung, Sanierung der Haltungstore, Erneuerung der Spaltfüll- und Entleerungsleitung der unteren Haltung, Erneuerung der Restwasserentleerung der unteren Haltung, Erneuerung der Restwasserentleerung der unteren Haltung, Überholung der Trogverriegelung, Untersuchung der Drehriegel und Fortführung der Elektromontagen.

Zu e)

Der Trog wurde nach Abschluß der zweiten Reparaturphase, die am 29. 3. 1985 begann und nahtlos in die dritte Reparaturphase übergeführt wurde, wieder mit Wasser gefüllt und konnte von diesem Zeitpunkt an beliebig verfahren werden.

Zu f)

Die dritte Reparaturphase umfaßte die Demontage der Absetzgerüste, der Restleistungen, Zusatzarbeiten, Erledigung von Schutzgüteaufgaben und vor allem gründliche Funktionsprüfungen und Inbetriebnahmearbeiten. Diese Phase konnte

5 Tage vorfristig, am 25. 4. 1985, abgeschlossen werden.

Rückblickend ist festzustellen, daß der vorgesehene Bauablauf laut Netzplan des HAN Ausrüstung sehr gut verwirklicht wurde. Durch die "taktmäßigen" Arbeiten für den Seilwechsel und die Lagerbehandlung konnten terminliche Vorsprünge herausgearbeitet werden. Die stahlbaulichen Arbeiten, insbesondere durch die beengten Verhältnisse an den Andichtrahmen und den Tornischen sowie notwendige Justierungen an den Toren standen teilweise unter starkem Termindruck. Deshalb mußte zeitweise "rund um die Uhr" gearbeitet werden.

### 3.3. Beschreibung der Hauptaktivitäten

#### 3.3.1. Baustelleneinrichtung

Die Baustelleneinrichtung wurde komplex auf einer forstwirtschaftlich genutzten Fläche zwischen den unteren Vorhöfen des Schiffshebewerkes und der alten Schleusentreppe errichtet. Sie wies, bedingt durch die vorgesehenen Arbeiten am Hebewerk und der technologischen Durchführung, einige Besonderheiten auf. Neben Tagesunterkünften für maximal 140 Arbeitskräfte, Büros, befestigte Freilagerflächen, überdachte Lagerfläche, Zufahrtstraßen, Beleuchtung, Heizhaus, waren das vor allem Werkstatträume und ein Raum für die Behandlung der Seilscheibenlager. Durch die große Anzahl parallel arbeitender Betriebe genügte die vorhandene Werkstatt des Hebewerkes nicht den Anforderungen durch die operativ anfallenden Arbeiten und mußte durch eine Baustellenwerkstatt ergänzt werden. Für die Behandlung der Seilscheibenlager wurde der stirnseitige Raum der Lager- und Werkstatthalle gesondert hergerichtet.

Dort wurde ein 50 kN-Brückenkran montiert, der die Seilscheiben vom Plattenwagen hob und in insgesamt 4 im Fußboden eingelassene Aussparungen absetzen konnte (Bild 5). Während der Bauzeit war die Wand zur restlichen Halle geschlossen. Für die weitere Nutzung kann die Wand entfernt werden, so daß der Kran die gesamte Halle bestreichen kann. Zur Baustelleneinrichtung gehörten ferner ein Lager für technische Gase, ein Schmierstofflager sowie eine umzubauen Gaststätte für die Arbeiterversorgung.

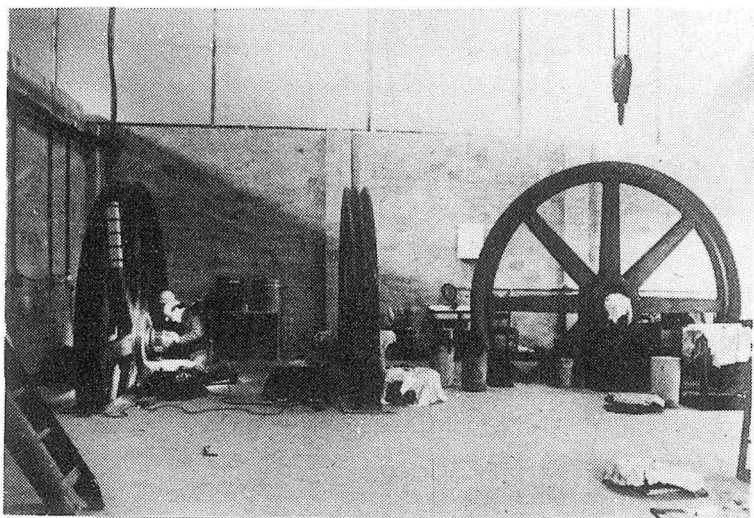


Bild 5      Blick in den Seilscheibenbehandlungsraum

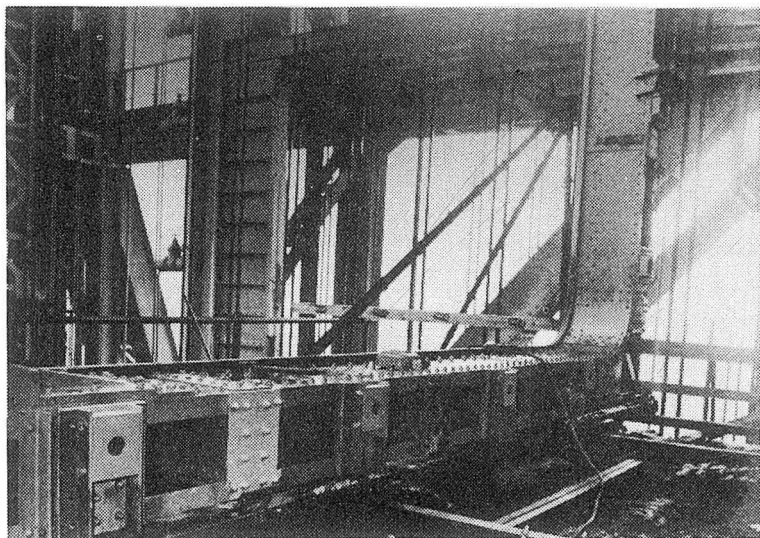


Bild 6      Ausgebaute Andichtrahmen der oberen Haltung

### 3.3.2. Stahlbauliche Arbeiten

Bei den Voruntersuchungen konnte festgestellt werden, daß das gesamte Hebewerkgerüst dank seiner soliden Ausbildung und des in den vergangenen Jahrzehnten sehr intensiven Wiederholungskorrosionsschutzes im wesentlichen keine Beanstandungen zeigte. Auch der Hebewerkstrog, der vor ca. 10 Jahren für die vom Wasser benetzten Innenflächen einen katodischen Korrosionsschutz erhalten hatte, wies einen guten Zustand auf. Hingegen zeigten die Andichtrahmen und ihre Unterstützungen infolge der ständigen Feuchtraumbedingungen relativ starke Korrosion. Das gleiche traf auf die Führungen und die Andichtflächen der Trog- und Haltungstore zu. Mechanischer Verschleiß machte außerdem einen Ersatz der federnd gelagerten Torführungsrollen erforderlich. Der Querträger des Rohrbühnenraumes in der unteren Haltung wies in der untersten aufgenieteten Lamelle ebenfalls starke Abrostungen auf, da eine Nachkonservierung infolge des zu geringen Abstandes zur Betonsohle (ca. 20 cm) praktisch nicht möglich war. Technologisch interessant ist, daß beide Andichtrahmen komplett von der übrigen Konstruktion gelöst und so in einem gut zugänglichen Zustand behandelt werden konnten (Bild 6). Bei der oberen Haltung wurde der Andichtrahmen zu diesem Zweck auf einem Gerüst auf dem westlichen Ende des Troges abgesetzt. Während dieser Arbeiten war der Trog nicht verfahrbar, was auch die weiter vorn beschriebenen Abhängigkeiten zwischen Seilwechsel und anderen Maßnahmen näher beleuchtet. Da nach Beendigung der Andichtrahmenmontage das Gerüst zu anderen Zwecken noch auf dem Trog verbleiben mußte, wurde eine entsprechende Leichterung der beiden westlich stehenden Bauprahme erforderlich, um Trogfahrten durchführen zu können. Im einzelnen waren stahlbauliche Rekonstruktionsarbeiten erforderlich

- am unterwasserseitigen Dichtungsanschluß des Haltungstrog (Landanschluß);
- am unterwasserseitigen westlichen Querträger (Rohrbühnenträger);
- an den Andichtrahmenführungen der oberen und unteren Haltung;
- an den Andichtrahmen der oberen und unteren Haltung;
- an den Führungsschienen beider Haltungs- und Trogtore;
- an den Führungsrollen beider Haltungs- und Trogtore;
- an den Anschlagleisten für die Dichtung beider Trog- und Haltungstore;
- an den Nischen der Haltungstore der unteren Haltung und der oberen Haltung;
- an der Blechhaut des Trogtore der unteren Haltung.

Daß bei den Arbeiten an den Toren gleich der Dichtungsgummi gewechselt wurde, versteht sich von selbst. Als weitere Leistung des Gewerkes Stahlbau muß die Montage, das Ausrichten, das einmalige Umsetzen und die Demontage der Absetzgerüste für die Gegengewichte genannt werden. Der beim Bau des Hebewerkes hinter die Dichtleisten als Dichtmasse eingebrachte sogenannte "Marineleim" war spröde geworden und teilweise nicht mehr vorhanden. Er wurde durch Weichgummistreifen ersetzt.

### 3.3.3. Seilwechsel und Fettwechsel in den Seilscheibenlagern

#### 3.3.3.1. Seilvorbehandlung

Nachdem, wie bereits beschrieben, durch die positiven Prüfergebnisse die Seile zur Produktion freigegeben waren, erfolgte die Anlieferung etappenweise auf Seiltrommeln von 1,8 m Durchmesser zum Hebewerk. Eine Trommel war immer mit dem Vielfachen einer benötigten doppelten Seillänge von ca. 120 m bestückt. Um Probleme einer unterschiedlichen Seillänge unter Last auszuschalten, war festgelegt worden, die Seile vorzurecken. Zu diesem Zweck wurde auf einem Teil des Parkplatzes am Hebewerk eine Seilreckanlage aufgebaut (Bild 7). Ein Doppelseil wurde mittels zweier an den Enden vergossener Gabelseilhülsen zu einem "endlosen Seil" verbunden und über eine feste und eine bewegliche Seilscheibe geführt. Ein Scherzeug mit Winde an der beweglichen Seilscheibe sorgte für die erforderliche Vorspannkraft von 600 kN (2 x 300 kN). Nach mehrmaligem Hin- und Herfahren bis zum Abklingen der Reckung wurde das Doppelseil abgelegt, auf exakte Längen zweier Seile getrennt und anschließend an den Trennstellen mit Gabelseilhülsen versehen. Der Verguß der Seilhülsen erfolgte in einem eigens neben der Reckanlage aufgebauten Vergußstand mit einer Legierung  $\text{Ln Sn 80}$  nach TGL 14703. Im Vergußstand wurden später auch die demontierten Gabelseilhülsen ausgeschmolzen. Zur Schaffung des entsprechenden technologischen Vorlaufs wurden 240 Stück Gabelseilhülsen neu angefertigt. Nach dem Angießen erfolgte die Seilkonservierung mit Elaskon und die Zwischenlagerung im ausgezogenen Zustand auf Transportbandgummi. Durch die dynamische Vorreckung der Seile wurden ein guter Verbund der Seillitzen und eine Streckung um ca. 1 % der Seillänge erreicht.



Bild 7      Seilreckanlage mit Vergußstand



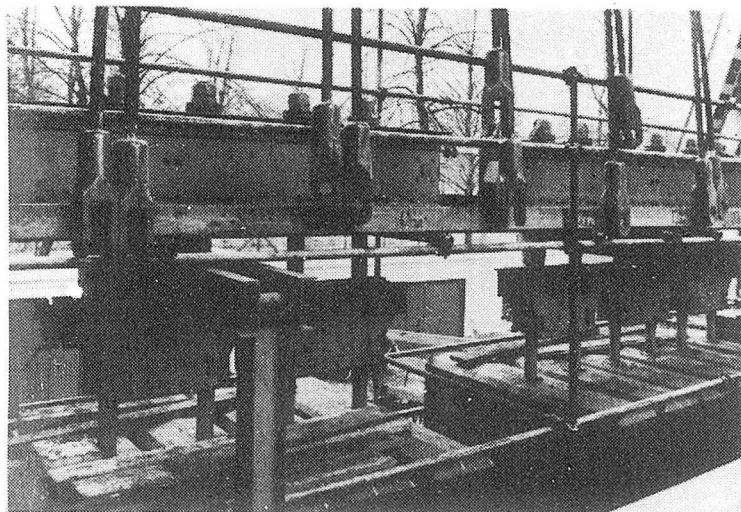


Bild 8      Gelöste Seile  
auf der Gegengewichtsseite

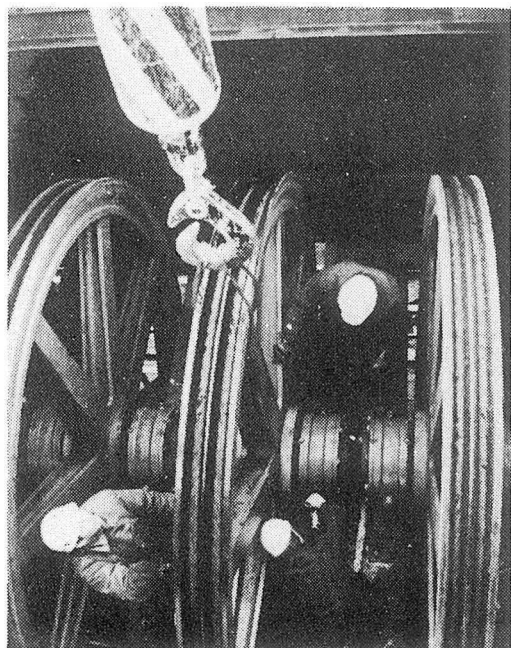
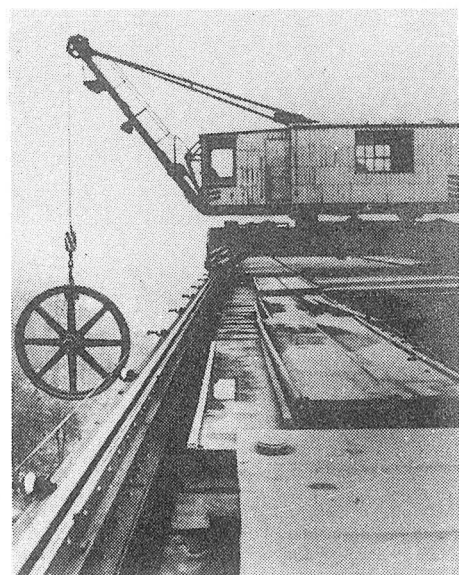
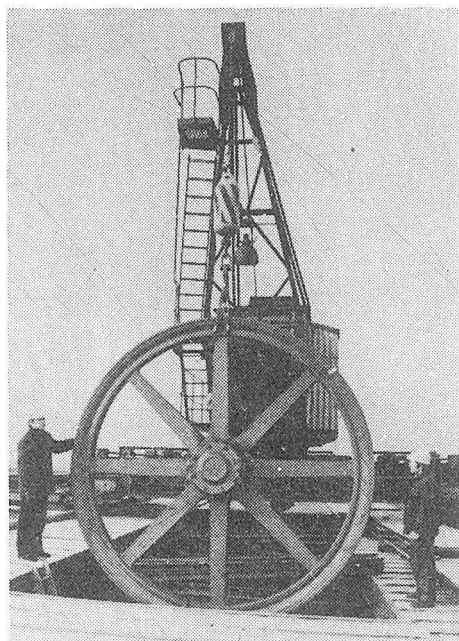


Bild 9, 10, 11  
Demontage der Seilscheiben



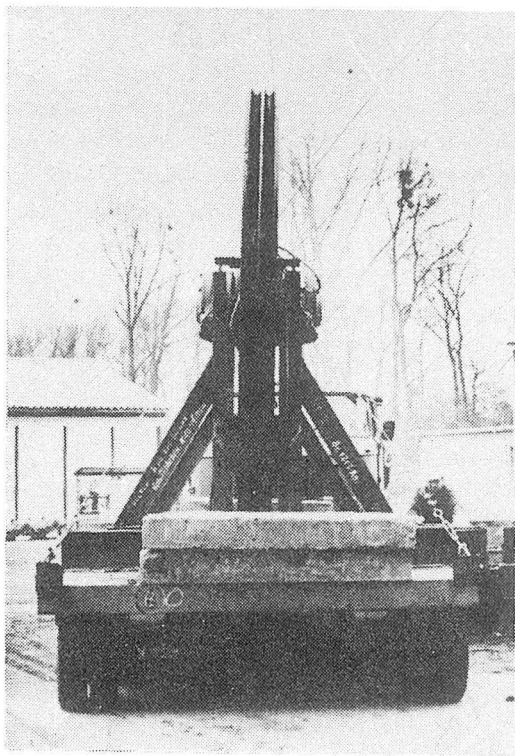


Bild 12 Tieflader mit Spezialvorrichtung zum Seilscheibentransport

### 3.3.3.2. Absetzen des Troges und Seilwechsel

Zum rationellen Seilwechsel mußte, wie bereits erwähnt, der Trog zeitweise auf den Drehriegeln abgesetzt werden. Nach dem Einbringen der Absetzgerüste für die zuerst vorgesehene Gegengewichtsgruppe wurden diese zunächst grob ausgerichtet und nach dem Hochfahren des Troges bis zum Berühren durch die ersten Gegengewichte durch Nachmessungen fein justiert. Die Gesamthöhe der Absetzgerüste einschließlich der Stapelträger betrug ca. 3 m. Nach der Feinjustage erfolgte ein schrittweises Höherfahren des Troges in "Feinfahrt" unter gleichzeitigem schrittweisen Ablassen von Wasser aus dem Trog. Alle

Absetzgerüste und alle Drehriegel standen dabei unter standiger Kontrolle. Durch mehrmaliges Wiederholen konnte so eine völlige Entspannung der Seile an den abgesetzten Gegengewichten erreicht werden. Nunmehr konnte das restliche Wasser aus dem Trog abgelassen werden, so daß sich die vorher eingeschwommenen Bauprahme auf den Sandsäcken absetzten. Jetzt ließen sich die Seile an der Gegengewichtsseite lösen (Bild 8) und der Trog konnte in die technologisch notwendige Stellung gebracht werden. Anschließend wurden die Seile auf der Trogseite mit Hilfe des Dachkranes herausgehoben, auf eine Freilagerfläche gezogen, von den Seilhülsen getrennt und verschrottet. In der 2. Reparaturphase wurde analog verfahren.

#### 3.3.3.3. Behandlung der Seilscheibenlager

Die im Zuge der Baustelleneinrichtung getroffenen Vorkehrungen zum Absetzen der Seilscheiben wurden bereits beschrieben. Nach der Demontage der alten Seile konnten die nunmehr freien Seilscheiben ausgebaut werden. Die Lager wurden von den Kugelkalotten gelöst, die Seilscheiben samt Lagern vom Dachkran übernommen und aus dem Hebwerk herausgezogen (Bilder 9, 10, 11). Das Dach der Seilscheibenbühnen mußte zu diesem Zweck, wie auch schon für die Seildemontage, abschnittsweise geöffnet werden. Die Seilscheiben wurden vom Dachkran dann auf einen mit einem Haltegestell ausgerüsteten Tieflader, auf Niveau der unteren Haltung stehend, abgesetzt und arretiert (Bild 12). Der Transport der Seilscheiben erfolgte in stehender Lage auf einem Tieflader mit Zugmaschine bis zur Werkstatthalle (ca. 400 m), in der sich der Raum zur Behandlung der Seilscheibenlager befand. Nach der Übernahme durch den dort befindlichen Brückenkran wurden die Seilscheiben in die vorbereiteten Aussparungen abgesetzt.

Es schlossen sich dann folgende Arbeitsgänge an:

- Entfetten der Lager;
- Kontrolle der Lager mit Protokollierung;
- Auswechseln verschlissener Teile je nach vorgefundenem Zustand;
- Füllen der Lager mit neuem Fett.

Das Entfetten geschah zunächst auf mechanische Weise und anschließend durch Auswaschen der geöffneten Lager mittels einer fettlösenden Prüfflüssigkeit S 102, wie sie auch im Stahlbau bei der Suche nach Haarrissen und dergleichen verwendet wird. Vorversuche mit verschiedenen Lösungsmitteln hatten diese Flüssigkeit als besonders geeignet ausgewiesen.

In der nächsten Arbeitsstufe wurden alle Lagerteile einer visuellen Beurteilung unterzogen und ihr Zustand protokolliert. Teile, deren Zustand keinen sicheren Betrieb mehr zuließ, wurden durch neu angefertigte ersetzt. Das betraf vor allem einige Rollen und Innenringe (s. a. 3.3.7.). Abschließend wurden die Lager mit Wälzlagerfett SWA 522 gefüllt, geschlossen und wieder montiert; dann erfolgte der Rücktransport. Beim Wiedereinbau wurde darauf geachtet, daß jedes Lager wieder in "seine" Kugelkalotte gelangte, um nicht noch zusätzliche Justierungsarbeiten vornehmen zu müssen. Den Transport der neuen Seile durch das Hebewerk zeigen die Bilder 13 und 14. Die provisorische Arretierung der neuen Seile unterhalb der Seilscheiben zeigt Bild 15.

#### 3.3.4. Maschinentechnische Arbeiten

In der Vorbereitungsphase waren folgende maschinentechnische Ausrüstungen auf ihren Verschleißzustand überprüft worden:

- Getriebe komplett mit Verzahnung, Lagerung und Abdichtung;
- Offene Vorgelege mit Verzahnung und Lagerung;
- Weitertriebsteile;
- Lager;
- Schmierungsanlagen;
- Kupplungen;
- Schieber für das Rohrleitungssystem.

Die Untersuchungen erstreckten sich dabei auf die Trogantriebe, die Drehriegel, die Trogverriegelungsantriebe, die Andichtrahmenantriebe, die Torantriebe und die Antriebe der Seiltreidelanlage. Das Ergebnis war, daß eine komplette Auswechslung einzelner Antriebe sich nicht erforderlich machte. Es wurden aber dennoch eine Reihe von Reparaturmaßnahmen notwendig, deren wichtigste hier genannt seien:

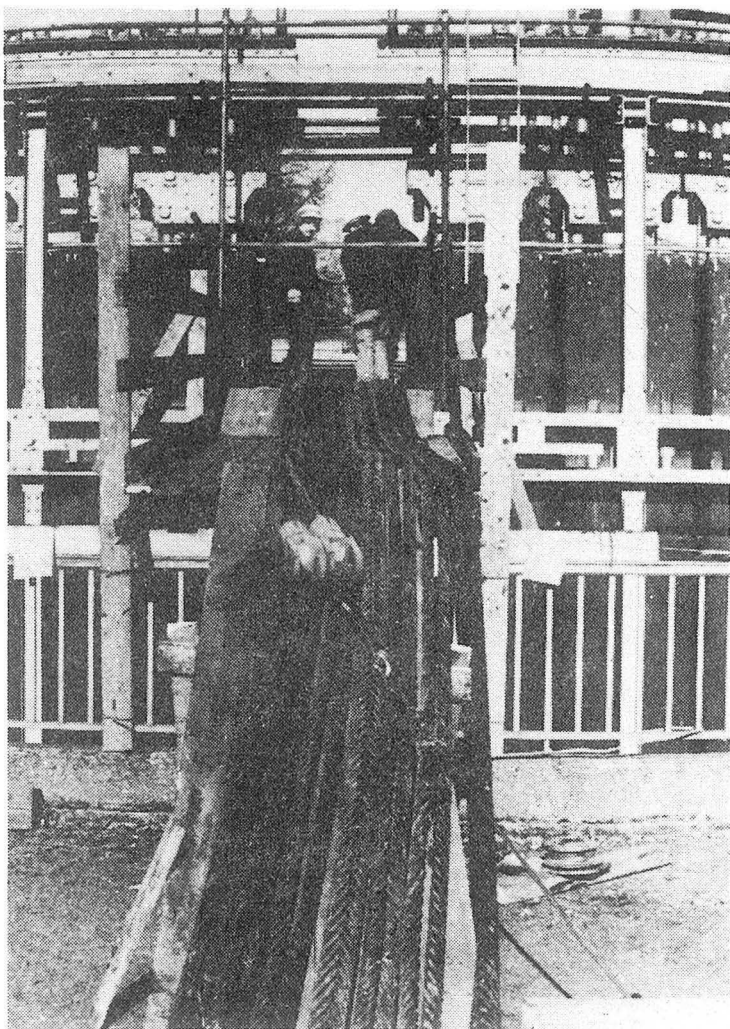


Bild 13      Einführen der neuen Seile in das Hebewerk

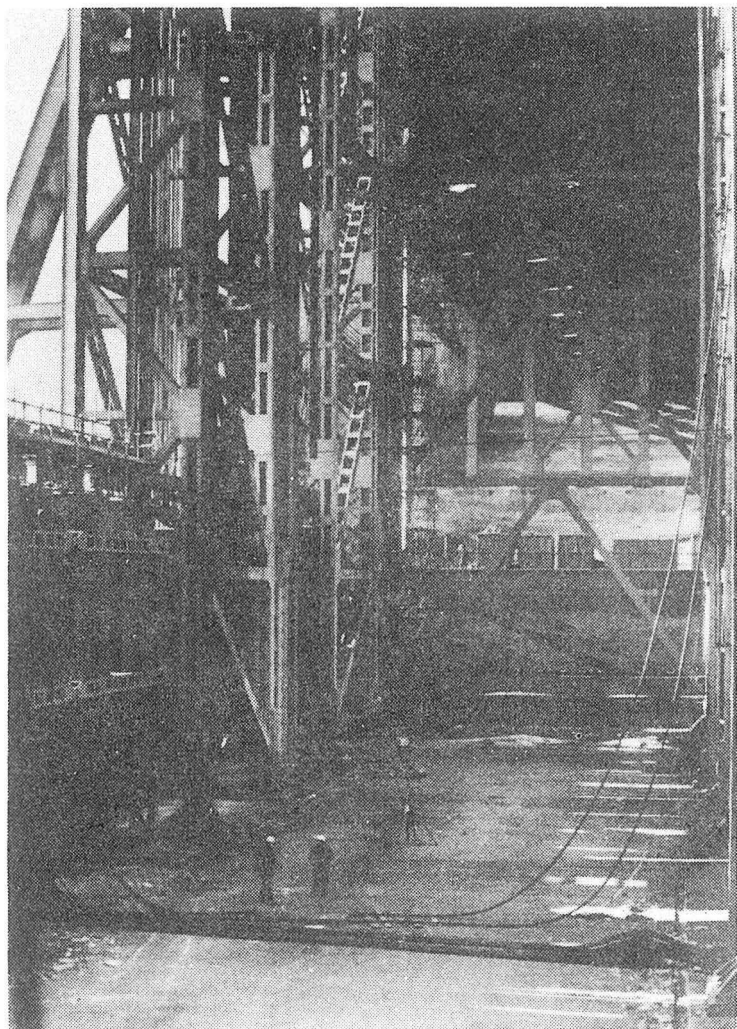


Bild 14      Quertransport der neuen Seile in der Hebewerkswanne

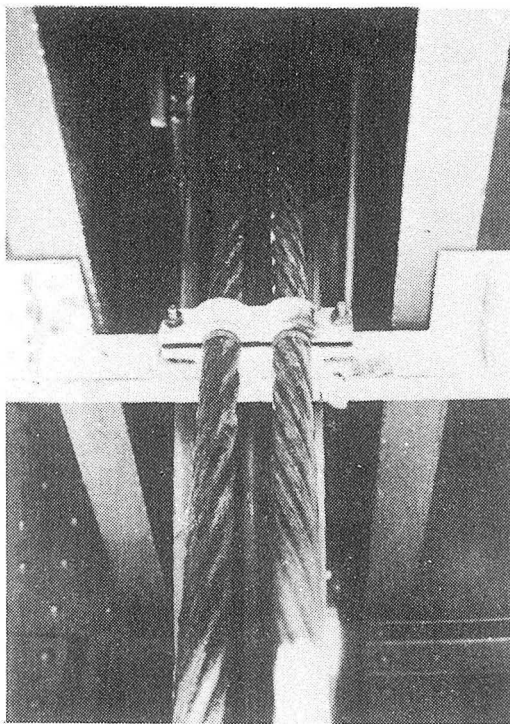


Bild 15      Arretierung der neuen Seile vor dem Anschluß an die Trog-  
und Gegengewichtsseite

- Ausbuchszen bzw. Erneuerung von Führungsrollen für die Trogführungen und die Ritzelwagen;
- Erneuerung sämtlicher Zentralschmierungsanlagen;
- Abdichten der Stehlager des Wellenvierecks;
- Überholung der Trogantriebe Nordost und Südost (hierbei vor allem die Auswechselung von Lagern, Prüfung und Neueinstellen der Federtöpfe);
- Erneuerung der Führungssteine mit Gewindemutter bei allen vier Torantrieben;



- Ersatz von Schiebern für die Spaltfüll- und -entleerungseinrichtungen der oberen und unteren Haltung, der Restwasserentleerung untere Haltung, der Trogfüllleitungen, der Trogentleerung und der Pegelanlagen;
- Ersatz bzw. Reparatur mehrerer Kupplungen für die Trogantriebe, die Verriegelung, die Andichtrahmen und die Torantriebe.

Da die Begutachtungen ohne Außerbetriebsetzung des Hebewerkes vorgenommen wurden, ergab sich, daß bestimmte Teile erst nach den Demontagearbeiten während der Generalreparatur überprüft werden konnten. Es war vorgesorgt worden, daß die dabei vorgefundenen Schäden ebenso wie die vorher erkannten behoben wurden. Wenn eine Reparatur nicht mit TGL-Teilen ausführbar war, wurde anhand der Bestandszeichnungen und von Aufmessungen Teile nachgefertigt.

### 3.3.5. Elektroarbeiten

Als wesentlichste Elektroarbeiten während der Generalreparatur des Schiffshebewerkes wurden realisiert:

- Eine teilweise Neuverkabelung des Hebewerkes;
- Errichtung von Baustromhaupt- und -unterverteilungen;
- Installation zusätzlicher Arbeitsplatzbeleuchtungen;
- Durchsicht aller Elektromotoren, Bremslüfter und Endschalter, soweit sie nicht ausgetauscht wurden;
- Arbeiten an der Kraft- und Übergabestation zur Baustrombereitstellung (u. a. Montage eines zusätzlichen 400 kVA-Transformators);
- Versorgung der Baustelleneinrichtung mit Elektroenergie;
- Anschluß des neuen Personenaufzuges;
- Neuinstallation des Hebewerk-Dachkranes;
- Erneuerung der Hebewerksbeleuchtung;
- Reparatur der Elektroheizungsanlagen an Dichtungen und Andichtrahmen;
- Komplette Erneuerung der Steuertafeln der unteren und oberen Haltung;
- Erneuerung der E-Ausrüstung der Steuerstände auf dem Trog.

Kriterium für alle Elektromontagen war, diese Arbeiten so in den allgemeinen Bauablauf einzutakten, daß keine Behinderungen der technologisch notwendigen Trogfahrten eintraten. Das ist in vollem Umfang gelungen.

### 3.3.6. Sonstige Arbeiten

Unter diesem Punkt werden solche Aktivitäten kurz genannt, auf die in den vorangegangenen Punkten nicht näher eingegangen werden konnte. Es waren dies einerseits Arbeiten, die im direkten Zusammenhang mit der Generalreparatur standen, andererseits Arbeiten der laufenden Unterhaltung, die in der Sperrzeit gleich mit erledigt wurden. Im einzelnen:

- a) An der Südwestseite wurde analog zu den beiden vorhandenen Aufzügen ein neuer Personenaufzug eingebaut, der zeitweise auch während der Generalreparatur schon zur Personenbeförderung diente.
- b) Betonplatten des oberen Hebewerksumganges waren durch mechanische und meteorologische Einwirkungen schadhaft geworden. Sie wurden durch neue Platten ersetzt, wobei gleichzeitig die sie tragende Stahlkonstruktion saniert wurde.
- c) Es wurden die Hubseile für die Trog- und die Haltungstore, die Prellballen und das Hilfstor gewechselt.
- d) Fast das gesamte Rohrleitungssystem des Hebewerkes einschließlich der Isolierungen wurde erneuert. Das betraf die Spaltfüll- und -entleerungsleitung der oberen und unteren Haltung, die Trogfülleleitung, die Abflußleitung, die Restwasserentleerungsleitung der unteren Haltung sowie die Pegelleitungen der oberen und unteren Haltung.
- e) Desgleichen wurden die zum Rohrleitungssystem gehörenden Schieber komplett ausgewechselt (insgesamt 36 Stück).
- f) Bei den Pegelanlagen wurden außer den Rohrleitungen auch die gesamte Elektrik sowie die Geber und die Anzeigegeräte erneuert.
- g) Desgleichen wurden 3 Pumpen zur Trogfüllung in der unteren Haltung sowie zur Restwasserentleerung der unteren Haltung durch neue Pumpen ersetzt und eine Abwassertauchpumpe neu beschafft.
- h) Abschließend sind die umfangreichen Korrosionsschutzarbeiten zu nennen, die an allen neu eingebauten Stahlbauteilen vorgenommen wurden.

### 3.3.7. Erkenntnisse für den weiteren Betrieb des Schiffshebewerkes

Trotz intensiver und umfassender Diagnose vor der Generalreparatur war zu erwarten, daß im Durchführungszeitraum weitere Schäden und Verschleißerscheinungen entdeckt werden.

Das liegt in der Natur eines solchen komplexen Bauwerkes begründet. Vorher alles zu erkennen bedeutet, die gesamte Anlage fast komplett auseinanderzunehmen. Da das wegen der Zweckbestimmung eines Hebewerkes, nämlich dem Schiffs-transport zu dienen, nicht möglich ist, müssen zwangsläufig Kompromisse zwischen Aufwand, Nutzen und Risiko eingegangen werden. So war z. B. beim Stahlbau und auch beim Maschinenbau während der Generalreparatur einige Male kurzfristig zu entscheiden, ob ein freigelegtes und nunmehr zugängliches Bau- oder Maschinenelement ausgetauscht bzw. erneuert werden sollte. Das ist in allen Fällen zugunsten eines weiteren sicheren Betriebs des Hebewerkes entschieden worden.

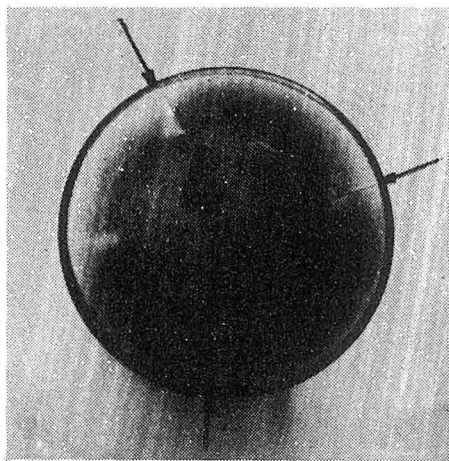


Bild 16      Stirnseitige Risse in einer Zylinderrolle

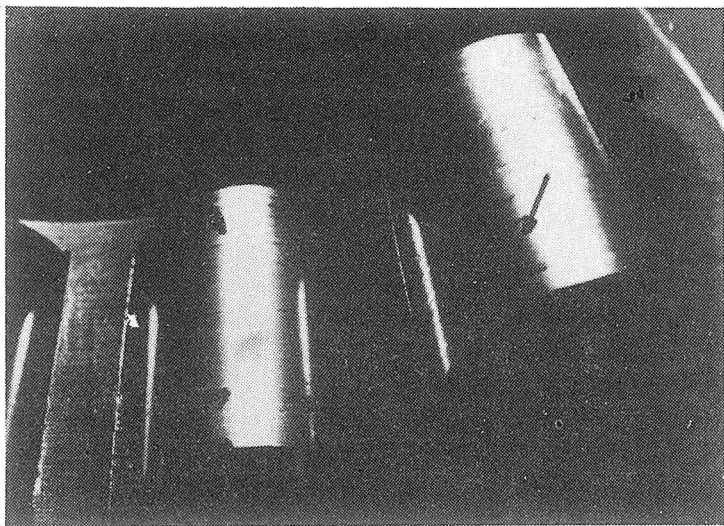


Bild 17      Oberflächenschäden an zwei Zylinderrollen

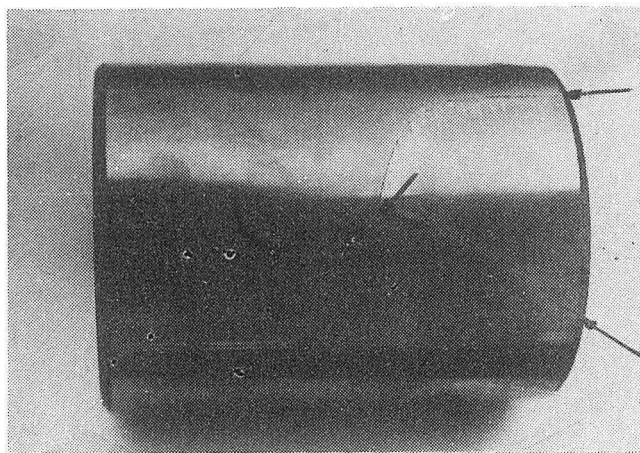


Bild 18      Materialausbruch an einer Zylinderrolle

Es soll jedoch nochmals auf die Lager der Seilscheiben eingegangen werden. Wie bereits unter 3.1. ausgeführt, hätte eine komplette Aufnahme aller Lager einen unvertretbar hohen Aufwand und eine längere Betriebsunterbrechung verursacht. Es wurde deshalb der unter 3.1. beschriebene Weg beschritten. Beim Öffnen der Lager und ihrer Untersuchung zeigte sich, daß ca. 30 % der Lager mit mehr oder weniger großen Schäden und Verschleißerscheinungen behaftet waren. Hauptsächlichliche Schäden waren:

- Einzelne Risse in den Zylinderrollen, die bevorzugt radial in die Tiefe und axial entsprechend der Berührungslinie verlaufen (Bild 16);
- Pittingförmige Ausbrüche (Mulden) sowohl in den Laufflächen der Zylinderrollen als auch in den Laufflächen des Innen- und Außenringes. Die Mulden sind sehr flach (0,03 bis 0,05 mm tief) und abgerundet;
- Fremdkörpereindrücke, die gegenüber den Mulden tiefer und in den Übergängen schärfer sind (Bild 17);
- Kantenausbrüche an zwei Rollen (Bild 18);
- Flächenförmiger Materialverlust an einer Rolle (nur 0,5 mm tief, 11 mm lang und 4 mm breit);
- Schürfmacken, Kratzer und Riefen, die eventuell bei der Lagermontage und beim Überrollen von kleinen Ausbrüchen entstanden sind;
- Korrosionserscheinungen an den Laufflächen der Wälzkörper und der Innen- und Außenringe. Es handelt sich um kreisförmige, zum Teil perlen- oder nestförmig angeordnete Lochfraßerscheinungen;
- Korrosionserscheinungen an den Käfigen und den Stirnflächen der Außenringe;
- Radialer Abtragsverschleiß, beobachtbar an dem vergrößerten Lagerspiel.

Es wurde festgestellt, daß offenbar viele einzelne Ursachen zu dem geschilderten Bild führten. Dazu können gehören:

- Gefügefehler;
- Formungenauigkeiten;
- Verspannungen;
- Ungleichmäßiges Tragen, Verkantung;
- Überlastung;
- Unsachgemäße Wärmebehandlung;
- Unsachgemäßes Schleifen;

- Korrosion, begünstigt dadurch, daß ein kompletter Fettaustausch im Betrieb infolge der unzureichenden Nachschmiermöglichkeiten nicht gegeben war. Dadurch verblieb immer ein großer Teil des verbrauchten Altfettes im Lager.

Schadhafte Rollen und Lagerringe wurden durch neue ersetzt. Damit ist eine weitere Laufzeit der Lager garantiert. Infolge des allgemeinen Zustandes der Lager und des weitergehenden Verschleißes wird der komplette Austausch aller Seilscheibenlager zum gegebenen Zeitpunkt vorbereitet. Neueste lager- und schmierungstechnische Erkenntnisse werden dabei berücksichtigt.

#### 4. Abnahme, Prüfungen, Probetrieb und Wiederinbetriebnahme

Zu diesem Komplex wurde eine "Konzeption zur Wiederinbetriebnahme des Schiffshebewerkes Niederfinow nach abgeschlossener Generalreparatur sowie nach abgeschlossenen Reparaturphasen" ausgearbeitet und in Kraft gesetzt. Diese Konzeption legte die notwendigen Maßnahmen zur Betriebsaufnahme, die Verantwortlichkeiten und den zeitlichen Ablauf entsprechend den technischen Bedingungen fest, und zwar für technologisch notwendige Zwischenphasen und den Endzustand. Entsprechend den Dokumenten zur Generalreparatur wurden 28 Funktionsgruppen herausgearbeitet, die getrennten Funktionsprüfungen zu unterziehen waren. Diese Arbeiten wurden von einem Anfahr-Stab geleitet und überwacht, der im Auftrag des Investitionsauftraggebers gebildet worden war. In der Praxis sah das so aus, daß der Anfahr-Stab die Abnahmeprotokolle einzelner Funktionselemente, einschließlich evtl. erforderlicher Materialatteste, Zertifikate und dgl., auswertete und entschied, unter welchen Bedingungen und in welcher zeitlichen Reihenfolge eine bestimmte Funktionsgruppe den erforderlichen Gesamtprüfungen unterzogen wurde. Als Beispiel sei hier das Haltungstor der oberen Haltung herausgegriffen. Dieses Haltungstor stellt nach der Definition eine Funktionsgruppe mit den Untergruppen Antrieb, Tortafel und Torführungen mit Anschlägen dar. Funktionselemente für die Untergruppen Antrieb waren der Motor, die Getriebe, die Kupplungen, die Zentralschmierungsanlage, die Seile, die Gegengewichte, die Wellen, die Lager und die Endschalter. Für die Prüfungen aller Funktionselemente wurden die Verantwortlichkeiten und die notwendigen Schalthandlungen festgelegt. Nach der Abnahme und Prüfung aller Elemente der drei Untergruppen erfolgte die Freigabe zur Funktionsprobe der gesamten Funktionsgruppe oberes Haltungstor unter Last, wobei in diesem Fall gefordert war, ein

fünfmaliges einwandfreies Auf- und Abfahren nachzuweisen. Diese Prüfungen wurden im Bedarfsfall später unter den Bedingungen des Betriebes mit Wasser wiederholt, um die Dichtheit des Tores und das Anliegen der Rollen zu kontrollieren. Prinzipiell wurde mit allen 28 Funktionsgruppen analog verfahren, wobei der Anfahr-Stab auch berechtigt war, Auflagen zu erteilen. Das Ganze gipfelte dann in kompletten Betriebsprüfungen aller Funktionsgruppen, d. h. Trogfahrten mit allen Handlungen, die zur Schleusung eines Schiffes notwendig sind. Die Komplexprüfungen umfaßten 50 Trogfahrten ohne Schiffsmitnahme. Erst danach wurde einige Probefahrten mit Binnenschiffen unternommen. Nach den erfolgreich verlaufenen Funktionsprüfungen wurde das Hebewerk für den Dauerbetrieb freigegeben.

## 5. Kooperationsbeziehungen und beteiligte Betriebe

Als Investitionsauftraggeber fungierte der Betreiber des Schiffshebewerkes, der VEB Wasserstraßenbetrieb und -unterhaltung Eberswalde. Dieser Betrieb stellte gleichzeitig die Investitionsbauleitung, und unter seiner Leitung arbeitete der Anfahr-Stab. Für die Realisierung der Generalreparatur waren zwei Hauptauftragnehmer tätig, und zwar

- als Hauptauftragnehmer "Ausrüstung", der  
VEB Zementanlagenbau Dessau,  
Außenstelle Magdeburg, Anlagenbau - Hauptauftragnehmer -  
Realisierung,  
ein Betrieb des Schwermaschinenbaukombinates "Ernst Thälmann" Magdeburg;
- als Hauptauftragnehmer "Bau", der  
VEB Bau- und Montagekombinat Ost, Frankfurt/Oder.

Beide Hauptauftragnehmer waren durch eigene Bauleitungen auf der Baustelle vertreten. Die Erstellung der Vorbereitungsdokumente, die Projektierung und die technische Koordinierung sowie die Erarbeitung der Wiederinbetriebnahme-konzeption lag in den Händen des VEB Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau.

An der materiellen Realisierung des Vorhabens waren über 50 einzelne Betriebe beteiligt. Die wichtigsten seien nachfolgend genannt:

- Für die Baustelleneinrichtung  
VEB Industriebau Fürstenwalde/Spree, ein Betrieb des  
VEB Bau- und Montagekombinat Ost;
- Für die Stahlbauarbeiten und die Absetzgerüste  
VEB Stahlbrückenbau Könnern, ein Betrieb des  
VEB Autobahnbaukombinat Magdeburg;
- Für den Seilwechsel, die Fattung und Kontrolle der  
Seilscheibenlager  
VEB Verlade- und Transportanlagen "Paul Fröhlich" Leipzig,  
ein Betrieb des VEB Kombinat TAKRAF;
- Für Reparaturen an den maschinellen Anlagen  
VEB Spezialmontagen Weimar, ein Betrieb des  
VEB Schwermaschinenbaukombinat "Ernst Thälmann" (SKET);
- Für die Lieferung von Getrieben  
VEB Getriebewerk Leipzig und VEB Getriebewerk Penig,  
Betriebe des VEB Kombinat Getriebe und Kupplungen;
- Für die Lieferung von Kupplungen  
VEB Kupplungswerk Dresden, ein Betrieb des  
VEB Kombinat Getriebe und Kupplungen;
- Für die Lieferung, Montage und Isolierung von Rohrleitungen  
VEB Industrierohrleitungsmontagen Berlin und VEB Industrieisolierungen  
Leipzig, Betriebe des VEB Kombinat Kraftwerksanlagenbau;
- Für die Lieferung und Montage von Schiebern  
VEB Magdeburger Armaturenwerk "Karl Marx", ein Betrieb des  
VEB Armaturenkombinat;



- Für die Lieferung und Montage der Zentralschmierungsanlagen  
VEB Schmiergerätewerk "Sexonia" Schwarzenberg, ein Betrieb des  
VEB Werkzeugmaschinenkombinat "Fritz Heckert";
- Für die Elektroarbeiten  
VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin, ein Betrieb des  
VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau, und  
VEB Dienstleistungskombinat Eberswalde.

Das gesamte Vorhaben wurde ausschließlich von Betrieben der DDR realisiert. Zeitweise waren im Auftrag einzelner Betriebe auch Arbeitskräfte aus der VR Polen und der VR Ungarn eingesetzt.

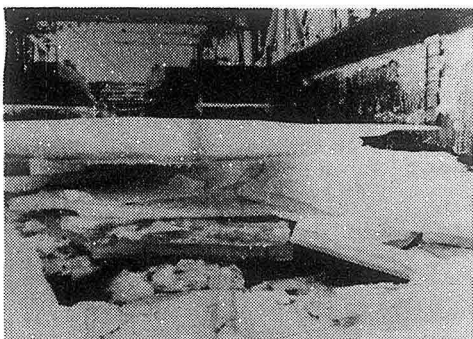


Bild 19

"Eislage" im Hebewerkstrog  
im Januar 1985

Fotos: VEB WBU Eberswalde

## 6. Schlußbemerkungen

Durch die beschriebenen Reparaturmaßnahmen ist es gelungen, das Schiffshebwerk Niederfinow in einen Zustand zu versetzen, der seinen weiteren Betrieb in den wichtigsten Anlagenteilen für einen weiteren längeren Zeitraum sichert. Voraussetzungen dafür waren eine exakte Vorbereitung und die kooperative Zusammenarbeit aller Beteiligten während der Generalreparatur.

Durch konzentrierten Einsatz ist es gelungen, die vorgegebene 7monatige Sperrzeit einzuhalten bzw. um 5 Tage zu unterbieten. Hohe Anerkennung verdienen all die Facharbeiter, Meister und Ingenieure, die dieses Vorhaben in dem strengen Winter 1984/85 verwirklichten.

# Eisdruck auf Kanalbrücken

Dipl.-Ing. M. Alexy    KDT

## 1. Einleitung

Eisdruckkräfte stellen bei Wasserbauten häufig den ungünstigsten Lastfall dar. Trotz zahlreicher Forschungsarbeiten zu dieser Problematik (/2/, /3/, /4/, /5/, /6/, /7/, /8/, /9/, /10/, /11/ u. a.) bestehen nach wie vor große Unsicherheiten beim Ansatz dieser Eisbelastungen. Der projektierende Ingenieur muß deshalb entweder auf Erfahrungswerte oder aber auf in der Regel wenig fundierte Lastannahmen aus der Literatur, die außerdem bei verschiedenen Autoren oft sehr stark voneinander abweichende Werte ergeben (/4/, /5/), zurückgreifen. So ist es nicht verwunderlich, daß Wasserbauwerke auf Grund dieser Unsicherheiten beim Ansatz der Eisbelastungen oft überdimensioniert werden, oder aber es treten zum Teil erhebliche Zerstörungen auf /5/.

Auch bei frei gespannten Kanalbrücken stellt die Wirkung des Eises ein erhebliches Problem dar. Neben der Bildung einer Festeisdecke an der Wasseroberfläche ist dabei auch mit einem beträchtlichen Eisansatz am Trogboden und an den Brückenwänden zu rechnen /1/. Die Eisbildung an den senkrechten Trogwänden bringt prinzipiell keinerlei nachteilige Wirkung mit sich, da dieses Eis unter Auftrieb steht und auch keine horizontalen Kräfte an die Brücke abgibt. Wesentlich bedeutender für die Ermittlung der Belastungsgrößen aus dem Eisdruck sind die Eisschichten an der Oberfläche und am Trogboden, wobei vom statischen Gesichtspunkt aus die entscheidende Gefährdung aus der horizontalen Belastung durch die Eisdecke an der Wasseroberfläche resultiert. Auf Grund der Strömungs- und Windverhältnisse in einem Kanal kann davon ausgegangen werden, daß der statische und der dynamische Eisdruck (Eisstoß) eine untergeordnete Rolle spielen.

Von entscheidender Bedeutung wird damit der sogenannte thermische Eisdruck. Eis verhält sich physikalisch wie jeder andere Körper, das heißt es zieht sich bei Abkühlung zusammen und dehnt sich bei Erwärmung aus. Somit besteht

die Gefahr, daß es nach einer längeren Frostperiode und einer darauf folgenden plötzlichen Erwärmung des Eises zu einer durch die Brückenwände mehr oder weniger behinderten Ausdehnung der Eisdecke kommt, wodurch in Abhängigkeit von der Elastizität der Brückenkonstruktion horizontale Eisdruckkräfte auf die Trogwände wirksam werden. Eine wichtige Voraussetzung für das Auftreten eines großen Eisdruckes ist nach ROSE /8/ neben einer vorausgegangenen längeren Frostperiode und einer niedrigen Ausgangstemperatur des Eises ein relativ hoher Sonnenstand (Frühlingspunkt). Damit tritt der Fall der maximalen Beanspruchung durch thermischen Eisdruck in der Regel am Ende eines strengen Winters im Zeitraum von Ende Februar bis Mitte März auf /1/. Die Größe der auf die Brückenkonstruktion wirkenden Eisdruckkräfte wird im wesentlichen durch folgende Einflußfaktoren bestimmt:

- Ausgangstemperatur des Eises;
- zeitliche Veränderung der Eistemperatur (Größe des Temperaturanstieges);
- Temperaturverteilung über die Eisdicke;
- Konstruktionsweise der Brücke und die sich daraus ergebende Elastizität der Brückenkonstruktion;
- Kanalbrückenbreite;
- Elastizität des Eises;
- Dicke der Eisdecke und Bruchfestigkeit des Eises, die einen Grenzwert für die durch das Eis zu übertragende Druckkraft darstellen und
- Form der Brückenwand im Bereich des Kontaktpunktes mit dem Eis.

Außerdem ist zu beachten, daß die Bruchfestigkeit des Eises immer von der Eistemperatur, vom Gas- und Salzgehalt sowie anderen Inhaltsstoffen des Eises, der Druckrichtung im Vergleich zur Wachstumsrichtung der Eiskristalle und der Belastungs- und Verformungsgeschwindigkeit abhängen.

Nach vor etwa 10 Jahren, im damaligen VEB Projektierungsbetrieb für Wasserstraßen, für Flachlandstandorte durchgeführte Untersuchungen ergaben, in Abhängigkeit von der Elastizität der Brückenkonstruktion und des Eises sowie für die Ausgangswerte von 80 cm Eisdicke und  $-30^{\circ}\text{C}$  Lufttemperatur, Werte für den thermischen Eisdruck, die im Bereich zwischen 160 KN/m und 250 KN/m lagen. Der statische Wasserdruck erreichte dagegen bei einer Wassertiefe von 3,50 m nur eine Größe von 61,25 KN/m. Auf Grund der unterschiedlichen Angriffspunkte der Eis- und Wasserdruckkräfte ergaben sich für die aus den Belastungsgrößen

resultierenden Biegemomente eine noch größere Differenz. Für eine Wassertiefe von 3,50 m werden somit folgende Kräfte und Momente wirksam:

- Biegemoment aus dem Wasserdruck: 71,7 kN/m;
- Biegemoment aus dem Eisdruck: 875 kN/m.

Aus diesen Werten wird ersichtlich, daß zur Bemessung des Trogquerschnittes in erster Linie der thermische Eisdruck heranzuziehen ist. Eine Ausschaltung bzw. wesentliche Herabsetzung der Wirkung des thermischen Eisdruckes bringt also erhebliche ökonomische Effekte hinsichtlich der Dimensionierung der Brückenkonstruktion und somit des Materialeinsatzes mit sich.

## 2. Maßnahmen zur Eisabwehr

### 2.1. Allgemeines

In einer Studie /1/ werden von STRAUBE denkbare Maßnahmen zur Eisabwehr an Kanalbrücken hinsichtlich ihrer Eignung für die praktische Anwendung untersucht. Im einzelnen handelt es sich dabei um:

- die Beheizung von Kontaktflächen;
- das Aufsägen der Eisdecke (z. Z. in der DDR praktizierte Methode);
- das Entleeren der Brücke nach Eintritt der Schiffsahrtssperre;
- den Einbau einer Luftsprüheinrichtung;
- den Einbau hochelastischer Bauglieder;
- das Aufstreuen dunkler Stoffe bzw. Chemikalien;
- eine Warmwassereinleitung und
- die Isolierung gefährdeter Stellen.

Die genannten Maßnahmen zur Verhinderung bzw. Reduzierung des thermischen Eisdruckes werden dabei auch einer vereinfachten Gebrauchswert-Kosten-Analyse (GKA) mit dem Ziel unterzogen, bestimmte Ansätze für Vorzugsvarianten zu untermauern, die weiter verfolgt werden sollten. Da die Kosten für die Eisabwehr im Verhältnis zu den Gesamtkosten des Baus einer Kanalbrücke sehr gering sind, werden die Kosten und Gebrauchswerte in der GKA in das Verhältnis 10 : 90 gesetzt.

Unter Berücksichtigung der Gebrauchswerte:

- Sicherheit des Wirkungsprinzips;
- Energiebedarf im Betrieb;
- Personalbedarf im Betrieb;
- Möglichkeit der Realisierung;
- notwendige F/E-Arbeiten;
- Reparaturbedingungen und
- Kombinationsfähigkeit mit anderen Varianten,

ergibt die vereinfachte Gebrauchswert-Kosten-Analyse diese Reihenfolge der günstigsten Maßnahmen zur Eisabwehr:

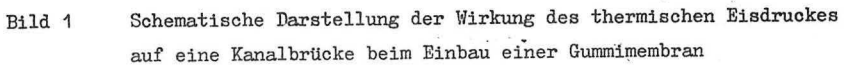
1. Einbau hochelastischer Bauglieder;
2. Entleeren der Kanalbrücke;
3. Warmwassereinleitung (Standortbedingt);
4. Einbau einer Luftsprudeleinrichtung.

Entsprechend diesen Untersuchungsergebnissen wurde die Aufgabenstellung für das hier vorgestellte Forschungsthema "Eisdruck auf Kanalbrücken" so ausgerichtet, daß die Variante "Einbau hochelastischer Bauglieder" im Mittelpunkt der Betrachtungen steht.

## 2.2. Einbau hochelastischer Bauglieder

Neben den bereits genannten Einflußfaktoren ist beim Einbau hochelastischer Bauglieder in erster Linie die Elastizität der an der Trogwand befestigten Gummimembran für die Größe der sich einstellenden Eisdruckkräfte von entscheidender Bedeutung (Bild 1). Sie wird im wesentlichen durch folgende Parameter bestimmt:

- Elastizitätsmodul des Gummimaterials (E);
- Einspannlänge der Gummiplatte (L);
- Dicke der Gummiplatte (D);
- Breite der Gummiplatte (B);
- Dicke der Eisdecke (d);
- Angriffspunkt der Eisdruckkräfte;
- Vorspannung der Gummiplatte ( $H_v$ ).



Bei der konstruktiven Gestaltung der Einspannung für die Membran ist insbesondere darauf zu achten, daß eine ungehinderte Ausdehnung der Eisdecke ( $\Delta l$ ) gewährleistet ist. Außerdem macht es sich erforderlich, in gewissen Abständen Entleerungsstutzen mit entsprechenden Ventilen vorzusehen. Das ist notwendig, um das Leckwasser, das in den Raum zwischen Gummi und Trogwand eventuell eindringen kann und im gefrorenen Zustand die Wirkung der elastischen Membran einschränkt oder sogar ausschaltet, abzuführen. Als Membran kommt in erster Linie Förderbandgummi in Betracht, da dieser in ausreichender Breite und vor allem in größeren Längen hergestellt wird und lieferbar ist. Damit können Verbindungsstellen, die vulkanisiert werden müßten, weitgehend vermieden bzw. auf eine geringe Zahl begrenzt werden.

86

kaum Hinweise auf Berechnungsverfahren zur Ermittlung von Verformungsgrößen in Abhängigkeit von verschiedenen Belastungsfällen zu finden sind. Aus diesem Grund mußten die Untersuchungen in erster Linie auf experimentellem Wege durchgeführt werden. Die Zielstellung für die Modelluntersuchungen umfaßte im wesentlichen zwei Punkte:

1. Experimentelle Bestimmung der Eisdrukgrößen in Abhängigkeit von den verschiedenen Einflußgrößen.
2. Entwicklung eines Berechnungsverfahrens zur näherungsweisen Bestimmung der Belastungsgrößen auf der Grundlage von Versuchsergebnissen mit dem Ziel der Schaffung von begründeten Lastannahmen aus Eisdruk als Voraussetzung für die Dimensionierung von Trogquerschnitten.

Aus dem letzten Punkt wird auch der ökonomische Nutzen der Untersuchungen deutlich. Durch die Abminderung des thermischen Eisdrukkes infolge des Einsatzes hochelastischer Bauglieder ergibt sich die Möglichkeit, den Materialeinsatz bei der Errichtung einer Kanalbrücke oder eines anderen Wasserbauwerkes zu reduzieren bzw. auf energie- und personalintensive Maßnahmen zu verzichten. Beim Einbau einer elastischen Membran können außerdem auf Grund der relativ genau zu bestimmenden Elastizität des Systems wesentlich exaktere Lastannahmen aus Eisdruk getroffen werden, als es bei starren Bauwerken möglich ist (vgl. 3.2.).

### 3. Stand der Forschung

#### 3.1. Physikalische und mechanische Eigenschaften des Eises

##### 3.1.1. Allgemeines

Die bereits erwähnten Unsicherheiten beim Ansatz der Eisbelastungen sind neben anderen Ursachen (unzureichende Kenntnisse über die tatsächlichen Eisverhältnisse, stark voneinander abweichende Literaturangaben, schwer zu erfassender Einfluß der Elastizität, Lage und Form eines Bauwerkes) in einem entscheidenden Maße auch auf die von vielen Faktoren beeinflussten und damit in Abhängigkeit von den konkreten Verhältnissen sehr unterschiedlichen physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Eises zurückzuführen. Deshalb soll zunächst kurz auf die wichtigsten, die Größe des Eisdrukkes mitbestimmenden Eigenschaften eingegangen werden.

### 3.1.2. Dichte

Reines Wasser, das seine maximale Dichte bei  $4^{\circ}\text{C}$  erreicht, hat bei  $0^{\circ}\text{C}$  ein spezifisches Gewicht von  $0,99987 \text{ g/cm}^3$ . Während der Kristallisation (Eisbildung) dehnt sich das Wasser plötzlich aus, so daß sich die Dichte auf ca.  $0,917 \text{ g/cm}^3$  verringert. Bei einer weiteren Abkühlung verkleinert sich das Volumen des Eises, so daß sein spezifisches Gewicht größer wird (Tabelle 1). Zu beachten ist hierbei, daß Salzwasser bzw. verunreinigtes Wasser erheblich abweichende Werte für das spezifische Gewicht aufweisen kann.

Tabelle 1:      Spezifisches Gewicht von reinem Eis in Abhängigkeit von der Temperatur nach /13/

$T_E \text{ } ^{\circ}\text{C/}$	0	- 2	- 4	- 10	- 30	- 50
$\rho \text{ } \text{g/cm}^3\text{/}$	0,9168	0,9171	0,9174	0,9183	0,9209	0,9232

### 3.1.3. Linearer Ausdehnungskoeffizient

Der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha$  hat einen entscheidenden Einfluß auf die Größe des sich einstellenden thermischen Eisdruckes. Besonders beim Einbau hochelastischer Bauglieder wirkt er sich neben der Kanalbreite auf die Ausdehnung der Eisdecke aus. Verschiedene aus der Literatur entnommene Werte zeigt Bild 3. Auffällig ist dabei, daß die Koeffizienten, ausgenommen die Angabe von ZAKRZEWSKI, eine relativ geringe Streuung aufweisen, so daß üblicherweise mit einem linearen Ausdehnungskoeffizienten von  $5,5 \cdot 10^{-5} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$  gerechnet wird /14/.



Tabelle 2: Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha$  für reines Eis nach Angaben verschiedener Autoren nach /2/

Temperaturbereich /°C/	$\alpha$ /1/°C/	Autor
- 2 bis - 27	$5,14 \cdot 10^{-5}$	STRUVE
0 bis - 10	$5,07 \cdot 10^{-5}$	VINCENT
0 bis - 5	$2,37 \cdot 10^{-5}$	ZAKRZEWSKI
0 bis - 20	$5,17 \cdot 10^{-5}$	ARMSTRONG
- 10	$5,40 \cdot 10^{-5}$	NICHOLS
0	$5,27 \cdot 10^{-5}$	JACOB, ERK

### 3.1.4. Elastizität

Der E-Modul des Eises ist gemeinsam mit der sich aus der Konstruktionsform der Kanalbrücke ergebenden Elastizität mitentscheidend für die Größe der thermischen Eisbelastung. Nach BROCKAMP und QUERFURTH /15/ ergeben sich parallel und senkrecht zur Wachstumsrichtung des Eises verschiedene Elastizitätskonstanten, die in Abhängigkeit von der Temperatur der Tabelle 3 entnommen werden können.

Tabelle 3: E-Modul des reinen Eises in Abhängigkeit von der Temperatur nach BROCKAMP und QUERFURTH /15/

$T_E$ °C	0	- 1	- 5	- 10	- 20
$E_H$ N/mm <sup>2</sup>	8570	8970	9040	9100	9230
$E_v$ N/mm <sup>2</sup>	7710	8270	8300	8360	8410

$E_H$  - E-Modul in horizontaler Richtung

$E_v$  - E-Modul in vertikaler Richtung

### 3.1.5. Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit des Eises bestimmt die maximal möglichen thermischen Eisbelastungen. Sie ist von

- der Eistemperatur,
- der Druckrichtung gegenüber der Wachstumsrichtung des Eises,
- der Verformungs- und Belastungsgeschwindigkeit,
- dem Salzgehalt und
- dem Gasgehalt des Eises

abhängig.

Zahlreiche in der Vergangenheit durchgeführte Untersuchungen zur Druckfestigkeit des Eises /2/, /3/, /6/ ergaben zum Teil stark voneinander abweichende Werte. Eine entscheidende Ursache hierfür ist die Verwendung verschiedener Eissorten mit unterschiedlichem Gas- und Salzgehalt. Außerdem stellt Eis in Abhängigkeit von den äußeren Bedingungen beim Gefriervorgang und der Zusammensetzung des Wassers einen mehr oder weniger inhomogenen Körper dar. So erhält SCHWARZ /3/ für verschiedene im Hamburger Raum untersuchte Eissorten bei gleicher Temperatur und Verformungsgeschwindigkeit Abweichungen bis zu 500 % (Bild 2).

Beim Einbau hochelastischer Bauglieder zur Abminderung der Belastungsgrößen aus thermischem Eisdruk liegen die im Eis auftretenden Spannungen erheblich unter den in der Literatur genannten Druckfestigkeiten, so daß diese keinen Einfluß auf die Größe der sich einstellenden Kräfte haben.

### 3.2. Thermischer Eisdruk

Mit der Ermittlung der Eisdrukkräfte, die bei der Ausdehnung des Eises infolge Temperaturanstieg entstehen, beschäftigten sich in der Vergangenheit zahlreiche Forschungsarbeiten /6/, /7/, /8/, /9/, /10/, /11/, /14/. Trotzdem gibt es beim Ansatz dieser Belastungsgrößen auf Grund der veränderlichen und nicht immer exakt erfaßbaren Eigenschaften des Eises und der vielfältigen äußeren Bedingungen, zu denen insbesondere die Lage, Form und Elastizität des Bauwerkes zu rechnen ist, erhebliche Unsicherheiten. Das findet seinen Ausdruck auch in den als Lastannahmen aus thermischem Eisdruk in verschiedenen Ländern empfohlenen Werten:

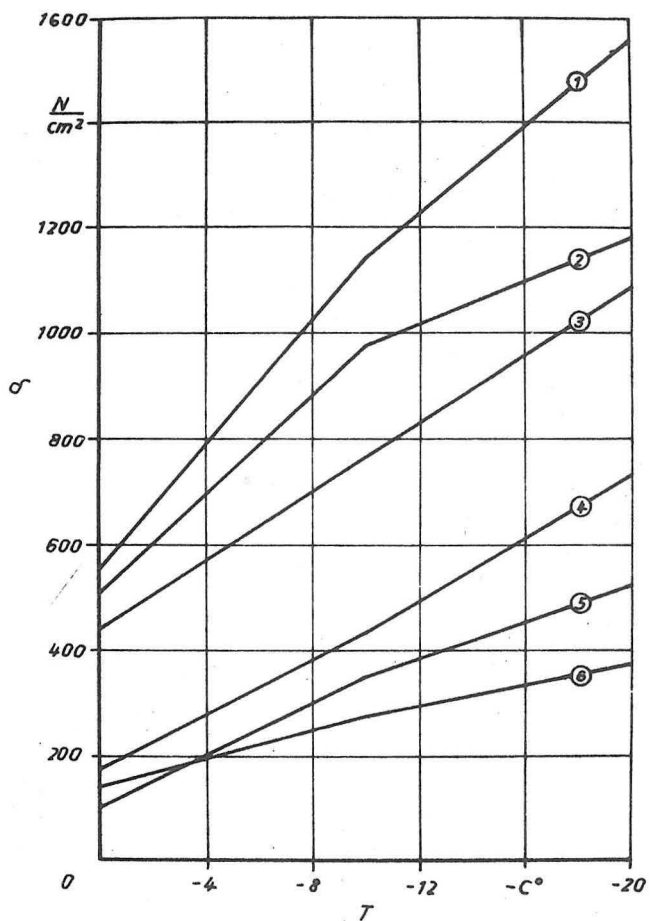
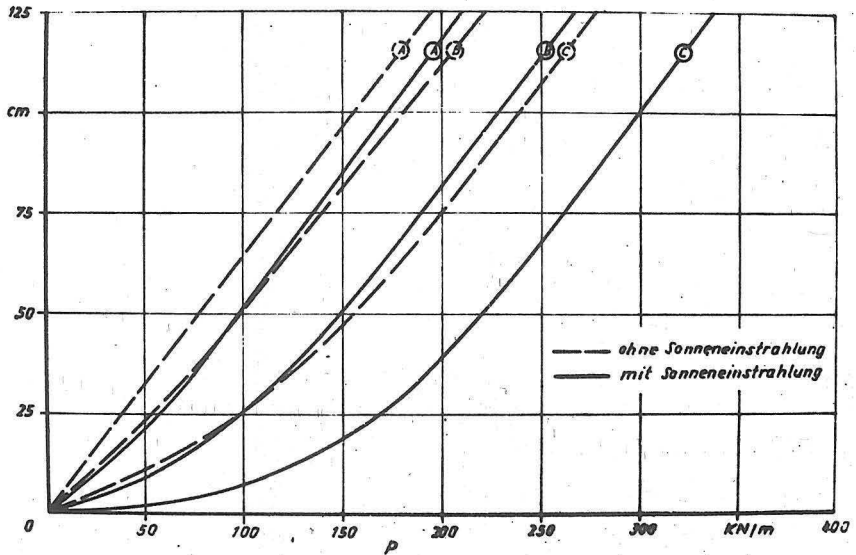


Bild 2 Druckfestigkeit verschiedener Eissorten in Abhängigkeit von der Eistemperatur nach SCHWARZ /3/ (Druck senkrecht zur Wachstumsrichtung bei einer Verformungsgeschwindigkeit von 0,003 1/s)

1 - Hafen - Eis  
2 - Alster - Eis  
3 - Elbe - Eis

4 - Ostsee - Eis  
5 - Brackwasser - Eis  
6 - Jade - Eis



d 3 Größter Eisdruck in Abhängigkeit von der Eisdicke  $d$  und dem Anstieg der Lufttemperatur (nach ROSE /8/) unter Berücksichtigung von Randkräften (senkrechte Uferbegrenzungen).

- A - stündlicher Temperaturanstieg von  $3,8^{\circ}\text{C}$
- B - stündlicher Temperaturanstieg von  $5,6^{\circ}\text{C}$
- C - stündlicher Temperaturanstieg von  $8,3^{\circ}\text{C}$

Ausgangstemperatur des Eises  $-40^{\circ}\text{C}$  an der Oberfläche linear zunehmend auf  $0^{\circ}\text{C}$  an der Unterseite

- UdSSR: 50 - 300 KN/m<sup>2</sup> für Ufer und Bauwerke, die eine Verformung zulassen:  
600 KN/m<sup>2</sup> für steile, felsige Ufer und starre Bauwerke (nach /6/).
- Kanada: 75 KN/m bei nachgiebigen Bauwerken  
150 - 220 KN/m bei starren Konstruktionen (nach /11/).
- USA: bis maximal 600 - 750 KN/m (nach /2/).

In der Literatur häufig zitiert werden die theoretischen Untersuchungen, die ROSE /8/ zur Problematik des thermischen Eisdruckes 1946 durchgeführt hat. Die grafische Darstellung der ermittelten Zusammenhänge zwischen Eisdruck und Eisdicke, Temperaturanstieg der Luft sowie der Sonneneinstrahlung zeigt Bild 3. Diese Ergebnisse sind nach LAUCHT /2/ für die praktische Anwendung unter Berücksichtigung der konkreten örtlichen Verhältnisse geeignet, wobei allerdings die folgenden Gesichtspunkte beachtet werden sollten:

1. Es ist die größtmögliche Eisdicke, die aus meteorologischen Statistiken und Erfahrungswerten geschätzt werden kann, zu Grunde zu legen.
2. Die Kurven des Diagramms sind für eine Ausgangstemperatur des Eises von - 40°C an der Oberfläche, linear zunehmend auf 0°C an der Unterseite der Eisdecke berechnet, wobei das Voraussetzen einer linearen Temperaturverteilung über die Eisdicke eine ungünstige Annahme darstellt.
3. Es ist stets der Grad der Sonneneinstrahlung zu berücksichtigen, der aus Lage und Art des Bauwerkes bestimmt werden muß.

Veränderungen der aus dem Diagramm entnommenen Werte können durch eine Schneedecke auf dem Eis, Windbewegung, Beschädigungen während des Gefrierens und Wasserstandsschwankungen verursacht werden.

Bei den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Verhältnissen spielen die oben genannten Ausführungen zur Ermittlung des thermischen Eisdruckes auf relativ starre Bauwerke und Uferbegrenzungen eine untergeordnete Rolle und können nur zum Vergleich herangezogen werden. Beim Einbau hochelastischer Bauglieder kommt es in erster Linie darauf an, die sich infolge Temperaturerhöhung praktisch ungehindert vollziehende Ausdehnung der Eisdecke zu berechnen.

inen entscheidenden Einfluß auf die Längenänderung hat dabei die Differenz der mittleren Eistemperatur. In /6/ hat KORZHAVIN dazu auf der Grundlage von Naturversuchen eine Beziehung gefunden, welche die mittlere Eistemperatur in Abhängigkeit von der Lufttemperatur der letzten 24 Stunden angibt:

$$T_E = 0,32 T_L - 1^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

$T_E$  - mittlere Eistemperatur;

$T_L$  - Lufttemperatur der vorangegangenen 24 Stunden.

Daraus folgt, daß das Verhältnis zwischen Eis- und Lufttemperatur nicht konstant ist, sondern sich entsprechend den Werten in Tabelle 4 ändert.

Tabelle 4: Verhältnis zwischen Eis- und Lufttemperatur in Abhängigkeit von der Lufttemperatur der letzten 24 Stunden nach /6/

$T_L$ °C	- 5	- 10	- 15	- 20	- 30	- 50
$T_E / T_L$ -	0,52	0,42	0,39	0,37	0,35	0,34

Auch zur Problematik der Übertragung der Lufttemperaturdifferenz auf die einzelnen Eisschichten wurden von KORZHAVIN Naturversuche durchgeführt. Erwartungsgemäß konnte festgestellt werden, daß die weitaus größten Temperaturschwankungen in den oberen Eisschichten vor sich gehen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Übertragung der Lufttemperaturschwankungen auf die verschiedenen Eisschichten nach KORSHAVIN /6/

		Entfernung von der Oberfläche der Eisdecke (cm)					
	Luft	1-3	17	35	50	65	80
Temperatur- differenz der letzten 24 h	°C 7,5	6,5	3,1	1,9	1,6	1,2	0,4
das gleiche (%)	100	87	42	25	21	16	6

Bei der Berechnung des thermischen Eisdruckes ist es allgemein üblich, von der mittleren Eistemperatur auszugehen. Diese Annahme hat bei relativ star Bauwerken sicherlich ihre Berechtigung. Für die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Verhältnisse, die auf Grund der Verwendung von hochelastische Baugliedern eine nahezu ungehinderte Ausdehnung der Eisfläche zulassen, si in der Literatur keinerlei Hinweise auf Berechnungsansätze zu finden. Mit Sicherheit kann davon ausgegangen werden, daß sich die einzelnen Eisschich auf Grund der in /6/ beschriebenen unterschiedlichen Übertragung der Luftt peraturschwankungen nicht gleichmäßig ausdehnen, womit die Berechnung der Längenänderung der Eisdecke auf der Grundlage der mittleren Eistemperatur nicht mehr gerechtfertigt sein dürfte. Es ist deshalb zu empfehlen, die De nung der oberen Eisschicht, die annähernd die Lufttemperatur annimmt, zur Ermittlung der sich einstellenden Druckkräfte heranzuziehen.

Die Grundlage für die Berechnung der Ausdehnung fester Körper infolge Temp raturanstieg bildet die Beziehung:

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta T \cdot l \quad (2)$$

$\alpha$  - linearer Wärmeausdehnungskoeffizient (1/°C);

$\Delta T$  - Temperaturdifferenz (°C);

$l$  - Kanalbreite (m).

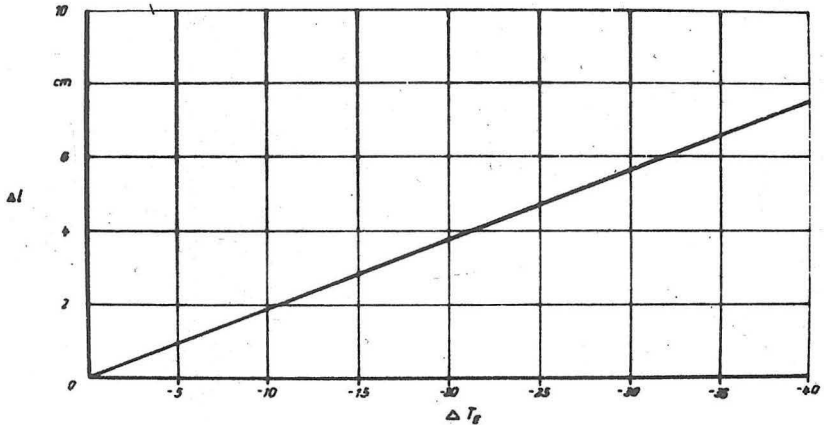


Bild 4 Ausdehnung einer Eisdecke in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz ( $l = 34,0 \text{ m}$ ;  $\alpha = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ )

Die so erhaltenen Dehnungen zeigt Bild 4 in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz. Dabei wurde von einer Kanalbreite von  $l = 34 \text{ m}$  und einem Ausdehnungskoeffizienten von  $\alpha = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$  ausgegangen.

#### 4. Modelluntersuchungen

Das Untersuchungsprogramm beinhaltet im wesentlichen die Durchführung von Modellversuchen an dem im nachfolgenden Abschnitt beschriebenen Labormodell im Maßstab 1 : 1. Dabei kamen zwei Gummisorten zum Einsatz:

1. Ein Gummi/Textilfördergurt vom Typ 1400 P 500/2 N 412 mit zwei textilen Einlagen, einer Breite von 1400 mm und einer Dicke von 12 mm (Hersteller: VEB Transportgummi Bad Blankenburg).
2. Eine Gummimatte von 3 mm Dicke und einer textilen Einlage.

Das Hauptaugenmerk wurde dabei auf die Versuche mit dem für die praktische Anwendung in erster Linie in Frage kommenden Förderbandgummi gerichtet. Das Untersuchungsprogramm sah die Messung der Druckkräfte unter Variation nachfolgend genannter Parameter vor:



- Ausdehnung des Eises ( $\Delta l$ );
- Angriffspunkt der Eisdruckkräfte;
- Dicke der Eisdecke ( $d$ );
- Einspannlänge des Gummis ( $L$ ).

Außerdem wurden der E-Modul des Gummimaterials festgestellt und Untersuchungen zur Zeitabhängigkeit der Spannungs-Dehnungs-Beziehung des Gummis durchgeführt. Im Ergebnis der Bearbeitung von Versuchsergebnissen wurde das geplante Programm um die Untersuchung des Einflusses der Gummibreite auf die Größe der sich einstellenden Druckkräfte erweitert.

## 5. Versuchstechnik

Den prinzipiellen Aufbau der Versuchsanlage zeigt Bild 5. Das Labormodell wurde im Maßstab 1 : 1 gefertigt und besteht aus einem frei hängenden Rahmen, in den die zu untersuchenden Gummiplatten eingespannt werden. Ein Druckbalken, der die Eisdecke simuliert, wird durch zwei Spindeln horizontal gegen die Gummiplatte bewegt. Der durch den Balken ausgeübte Druck wird über den Spannrahmen auf vier HLW-Kraftmeßdosen vom Typ KWH 200 übertragen, die am Betonwiderlager, das die Trogwand verkörpert, befestigt sind. Die Simulation des resultierenden Wasserdruckes auf die Gummimembran erfolgt ebenfalls mittels eines spindelgetriebenen Druckbalkens. Um das Dehnungsverhalten des Gummis bei unterschiedlichen Kraftangriffspunkten untersuchen zu können, sind Spannrahmen und Kraftmeßdosen gegenüber dem Spindelbock vertikal verstellbar. Die Messung der Dehnung der Gummimembran erfolgte über eine einfache mechanische Meßeinrichtung. Dazu wurden zwei Drähte in Druckbalkenhöhe an der Gummiplatte befestigt und über Umlenkrollen an eine Skala herangeführt.

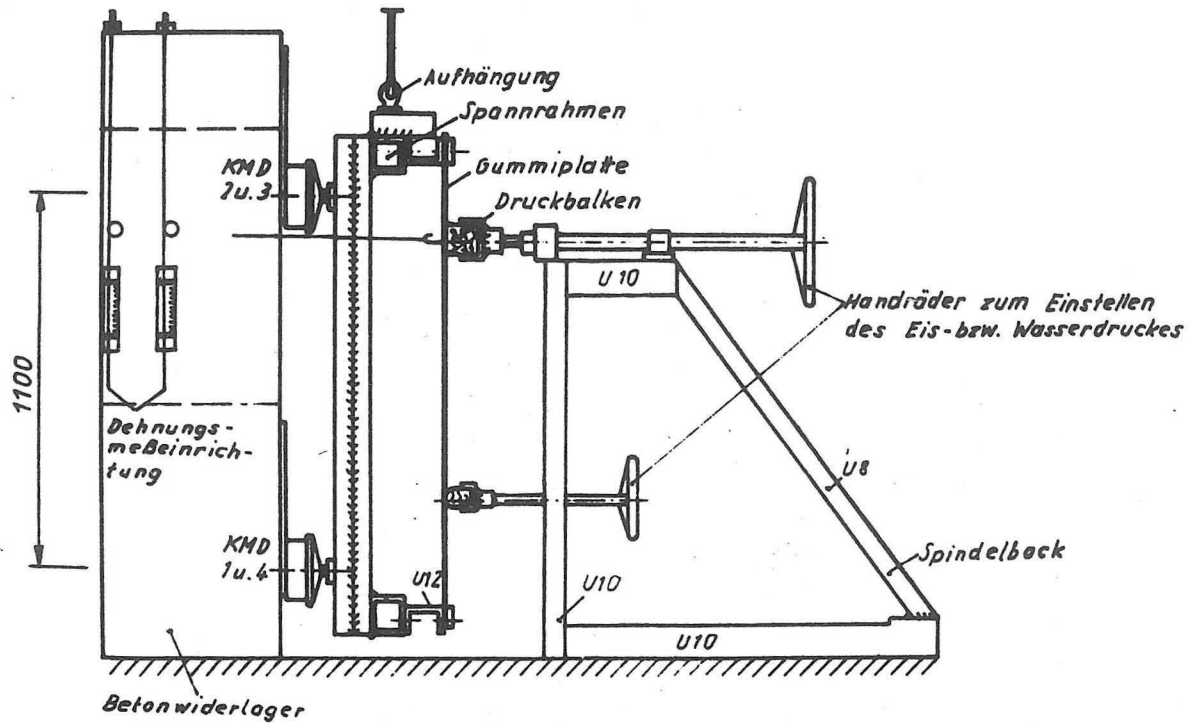
Ansicht

Bild 5 Versuchsanlage zur Simulation des thermischen Eisdruckes

## 6. Untersuchungsergebnisse

### 6.1. Eigenschaften des Gummimaterials

Eine der hervorstechenden Eigenschaften des Gummis ist neben der großen elastischen Verformungsfähigkeit, der Inkompressibilität und der Fähigkeit zur Schwingungsdämpfung und Schalldämmung ein stark ausgeprägtes "Kriechverhalten". Das bedeutet, daß unter einer zeitlich andauernden Belastung außer den sich sofort einstellenden Formänderungen zeitabhängige elastische und plastische Verformungen auftreten, die auch als Kriechverformungen bezeichnet werden. Diesbezügliche Untersuchungen am Labormodell ergaben für den Fördergurt eine Verringerung der Druckkraft auf 73,5 % nach 21 Stunden (Bild 6) sowie für die Gummimatte auf 78,2 % nach 380 Minuten. Auf Grund

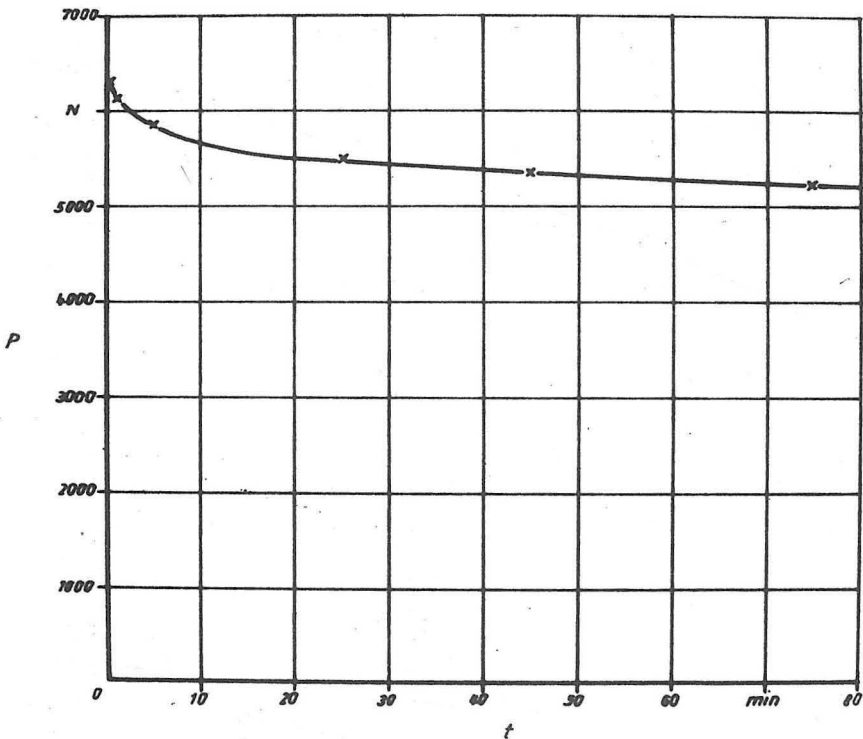


Bild 6 Druckkraftverringierung an Labormodellen

dieses stark ausgeprägten Kriechverhaltens des Gummis ergibt sich in Abhängigkeit von der Versuchsdauer eine mehr oder weniger große Streuung der Meßergebnisse.

Au bei der experimentellen Bestimmung des Elastizitätsmoduls spielt der zeitliche Einfluß hinsichtlich der Spannungs-Dehnungs-Beziehung eine große Rolle. Um zu vergleichbaren Ergebnissen zu kommen, wurde der E-Modul bei beiden Gummisorten nach einer zehnminütigen Belastungseinwirkung ermittelt. Das entspricht etwa dem Zeitpunkt, an dem 40 % (Fördergurt) bzw. 50 % (Gummimatte) der Kriechverformungen stattgefunden haben, so daß die Rechnung mit diesen Elastizitätskonstanten zu Ergebnissen führt, die auf der sicheren Seite liegen. Im einzelnen wurden folgende Werte ermittelt:

- Fördergurt:  $E = 6500 \text{ N/cm}^2$ ;
- Gummimatte:  $E = 2350 \text{ N/cm}^2$ .

Die zur Durchführung der Versuche benutzten Prüfkörper entsprachen der TGL 8444, Blatt 2.

## 6.2. Ermittlung der Druckkräfte

### 6.2.1. Theoretische Grundlagen

Wie bereits erwähnt, gibt es in der Literatur zu der hier vorliegenden Problematik der statischen Belastung einer Gummimatte keinerlei Hinweise auf Berechnungsverfahren zur Ermittlung von Verformungsgrößen in Abhängigkeit vom jeweiligen Lastfall. Die Schwierigkeiten bei der theoretischen Betrachtung der Spannungs-Dehnungs-Beziehung liegen vor allem darin begründet, daß Gummi ein hochelastischer Werkstoff ist und damit sehr große Formänderungen auftreten. Dabei werden die Verformungen sowohl durch die Biegung der Gummiplatte als auch durch die infolge der Formänderung entstehende Längsdehnung des Gummis beeinflusst, so daß die Behandlung des Spannungsproblems nach der Theorie II. Ordnung erfolgen muß, d. h. der Einfluß der Verformungen auf den Schnittkraftzustand ist zu berücksichtigen. Außerdem wird die Größe der sich einstellenden Druckkräfte auch durch die Breite der Gummimembran mitbestimmt.

Um trotz der genannten Probleme die tatsächlichen Verhältnisse zumindest näherungsweise erfassen zu können, wurde auf ein Berechnungsverfahren zurückgegriffen, das in /16/ als Grundlage zur Berechnung von Seilnetzkonstruktionen entwickelt wurde und das Spannungs-Dehnungs-Problem an einem dehnbaren Seil nach der Theorie II. Ordnung behandelt.

Entsprechend Bild 7 gilt zwischen  $y(x)$  (Ordinate) und  $g(x)$  (Belastung) die nachstehende Beziehung:

$$y''(x) = -\frac{1}{H} g(x) \quad (3)$$

bzw. nach der Integration

$$y(x) = -\frac{1}{H} \iint g(x) dx dx + C_1 \cdot x + C_2 \quad (4)$$

Diese Gleichung läßt sich durch den Ersatzbalken nach Bild 8 deuten, wobei gilt:

$$M''(x) = -g(x) \quad (5)$$

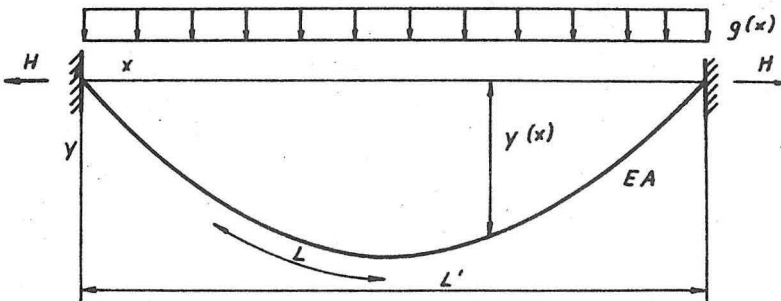


Bild 7 Geometrie- und Kräfteverhältnisse am Seil infolge einer Vorbelastung  $g(x)$

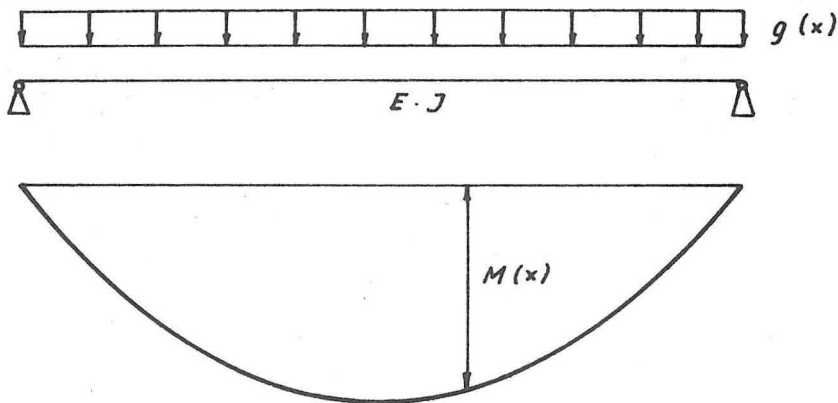


Bild 8 Ersatzbalken mit der Steifigkeit  $E \cdot J$  (Trägheitsmoment)

Aus den Formeln (3) und (5) folgt:

$$y''(x) = \frac{1}{H} M(x) \quad (6)$$

bzw. nach der Integration unter den Randbedingungen nach Bild 7:

$$y(x) = \frac{1}{H} M(x) \quad (7)$$

Damit entspricht die Seilkurve der Momentenlinie am Ersatzbalken, d. h.  $y(x)$  ist aus  $M(x)$  über den Umrechnungsfaktor  $1/H$  zu bestimmen, wobei  $H$  die Horizontalkomponente der Seilkraft ist, die bei reiner Vertikalbelastung  $g(x)$  über die gesamte Seillinie konstant bleibt. Um die Seilkurve und die Seilkräfte angeben zu können, muß mindestens ein Punkt der Seillinie bekannt sein. Die Länge der Seilkurve kann über die Beziehung

$$L = \int_0^{L'} \sqrt{1 + y'(x)^2} \, dx \quad (8)$$

bestimmt werden. Dabei ist eine geschlossene Lösung des Integrals nur in seltenen Fällen möglich.

Erhält das mit  $g(x)$  vorbelastete Seil, dessen Geometrie und Kräfte ermittelt worden sind, eine Zusatzlast  $p(x) = a \cdot g(x)$ , so ergibt sich die Gesamtbelastung des Seiles zu:

$$q(x) = g(x) + p(x) = (1 + a) g(x) \quad (9)$$

Entsprechend sind auch die Momente  $M(x)$  am Ersatzbalken mit dem Faktor  $(1 + a)$  zu multiplizieren.

Da am undehnbaren Seil ( $E \cdot A = \infty$ ) die Seillänge nach der Zusatzbelastung unverändert bleibt, muß auch  $y(x)$  den gleichen Wert wie beim Lastfall  $g(x)$  annehmen.

Damit können die Seilkräfte addiert werden:

$$H_p = a \cdot H_g$$

$$H = H_p + H_g = (1 + a) H_g = H_q \quad (10)$$

Diese Lösung für das undehnbare Seil soll im folgenden als Ergebnis nach Theorie I. Ordnung bezeichnet werden (Index I.). Mit Theorie II. Ordnung werden nur die Einflüsse aus der Geometrieänderung der Seilkurve infolge seiner elastischen Nachgiebigkeit erfaßt.

Eine proportionale Zusatzbelastung  $p(x) = a \cdot g(x)$  ergibt zusätzliche Seilkraftanteile  $H_p$  am undehnbaren Seil, d. h. mit der Theorie I. Ordnung

$$H_p^I = a \cdot H_g$$

Der Einfluß der elastischen Nachgiebigkeit läßt sich über eine Längenänderung  $\Delta L$  des Seiles infolge  $H_p$  deuten (Bild 9)

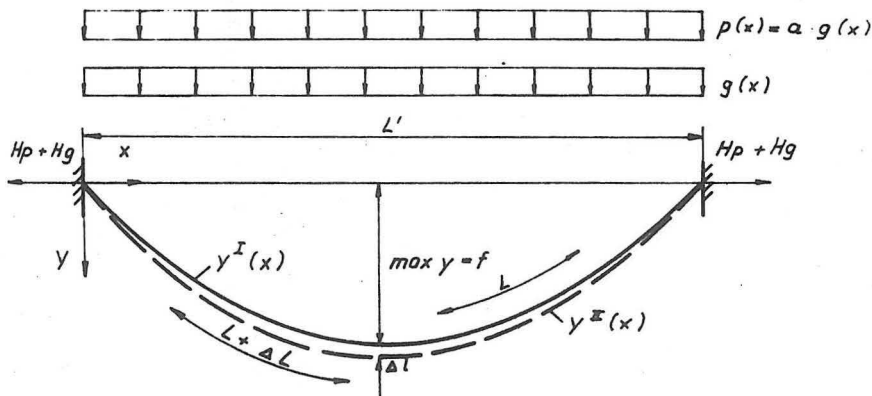


Bild 9 Kräfteverhältnisse und Geometrie unter Beachtung der elastischen Nachgiebigkeit des Seiles

$$\Delta L = -\frac{H_p}{E \cdot A} \int_0^{L'} (1 + y'^2(x)) \quad (11)$$

Entsprechend Bild 9 besteht zwischen  $y^I(x)$  und  $y^{II}(x)$  die folgende Beziehung:

$$M^I(x) = M^{II}(x) = H^I \cdot y^I(x) = H^{II} \cdot y^{II}(x) \quad (12)$$

$$H = H_g + H_p$$

Die Berechnung der Belastungs- und Verformungsgrößen kann in zwei Schritten durchgeführt werden:

1. Ermittlung der Seillänge  $\Delta L$  nach Gleichung (11) mit  $H_p^I$  am unverformten System.
2. Bestimmung der neuen Seillinie nach (8) wodurch eine verminderte Seilkraft erhalten wird.



Durch eine nochmalige Wiederholung der Rechenschritte läßt sich die Genauigkeit der Ergebnisse erhöhen. Um diese recht aufwendige Iteration zu vermeiden, wurde in /16/ ein neues Berechnungsverfahren entwickelt. Dabei werden die Veränderungen der Geometrie und der Kräfte infolge der Anwendung der Theorie II. Ordnung als Unbekannte eingeführt:

$$1. \quad \Delta H = H^{II} - H^I = H_p^{II} - H_p^I \quad (13)$$

$$2. \quad \Delta L = \frac{H_p^{II}}{E \cdot A} \int_0^{L'} (1 + y'(x)^2) dx \quad (14)$$

$$y(x) = y^I(x)$$

3.  $\Delta l$  ist die aus der Seillängung  $\Delta L$  resultierende Stichänderung,  
 $f = \max y$  (vgl. Bild 9)

Zwischen  $\Delta l$  und  $\Delta L$  gibt es eine geometrische Beziehung, die allerdings in der Regel nur angenähert geschlossen darzustellen ist. Für die beiden Unbekannten  $\Delta H$  und  $\Delta l$  lassen sich zwei Gleichungen aufstellen:

1. Unter der Voraussetzung, daß sich  $y^{II}(x)$  nur wenig von  $y^I(x)$  unterscheidet, kann mit der Formel (12) die Kraftänderung  $\Delta H$  infolge der Stichänderung  $\Delta l$  angegeben werden:

$$H^I \cdot f = H^{II}(f + \Delta l) = (H^I + \Delta H) (f + \Delta l) \quad (15)$$

$$\Delta H \cdot \Delta l \approx 0$$

$$\Delta H = - \frac{\Delta l}{f} H^I \quad (16)$$

2. Mit der Seillänge  $\Delta L$  nach (14) folgt die Stichänderung  $\Delta l$  aus:

$$\Delta l = \frac{H_p^{II}}{E \cdot A} \cdot f \cdot G \quad (17)$$

$$\text{mit } G = \frac{1}{f} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta L} \int_0^{L'} (1 + y'(x)) dx \quad (18)$$

Dabei sind die Geometrieanteile in  $\Delta L$  sowie die Umrechnung von der Seillänge  $\Delta L$  auf die Stichänderung  $\Delta l$  im Geometriebeiwert  $G$  zusammengefaßt. Aus den Bestimmungsgleichungen (16) und (17) kann  $H_p^{II}$  direkt, d. h. ohne Iteration, ermittelt werden:

$$H_p^{II} = \frac{H_p^I}{1 + \frac{H_p^I \cdot G}{E \cdot A}} \quad (19)$$

Der Geometriebeiwert  $G$  ist nach Gleichung (18) für verschiedene aus der Belastung resultierende Typen von Seilformen zu bestimmen. Im folgenden wird der  $G$ -Wert für den Fall einer mittigen Einzellast sowie zweier symmetrischer Einzellasten hergeleitet:

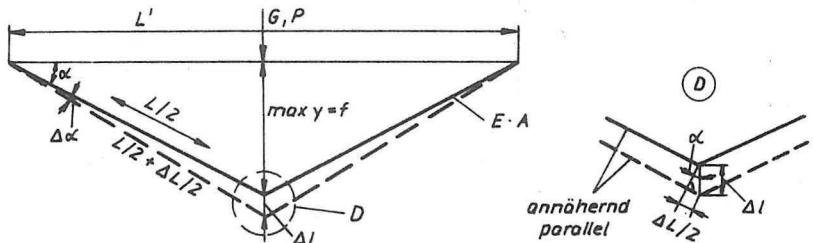


Bild 10 Geometrische Verhältnisse am Seil unter Einwirkung einer mittigen Einzellast

## 1. Mittige Einzellast

Mit  $y' = \tan \alpha$  wird

$$(1 + y'(x)^2) dx = (1 + \tan^2 \alpha) l = \frac{l}{\cos^2 \alpha} \quad (20)$$

Die rein geometrische Ableitung von  $\Delta l$  und  $\Delta L$  ergibt (Voraussetzung:  $\Delta \alpha \ll \alpha$ ):

$$\Delta l = \frac{L}{\Delta f} \quad \Delta L = \frac{L'}{4f} \cdot \frac{\Delta L}{\cos \alpha} \quad (21)$$

Daraus folgt:

$$G = \frac{L'^2}{4f^2} \cdot \frac{1}{\cos^3 \alpha} \quad (22)$$

## 2. Zwei symmetrische Einzellasten

Mit  $y' = \tan \alpha$  im Abschnitt  $\lambda \cdot L$  und

$y' = 0$  im Mittelabschnitt wird

$$\int_0^{L'} (1 + y'(x)^2) dx = \frac{2\lambda \cdot L'}{\cos^2 \alpha} + 1(1 - 2\lambda) \quad (23)$$

Die exakte Ermittlung der Stichänderung  $\Delta l$  wird dadurch erschwert, daß die Längenänderung  $\Delta L$  anteilig auf drei Seilabschnitte zu verteilen ist. Für

$\lambda \geq 0,25$  kann angenähert die Längenänderung im Mittelabschnitt vernachlässigt werden:

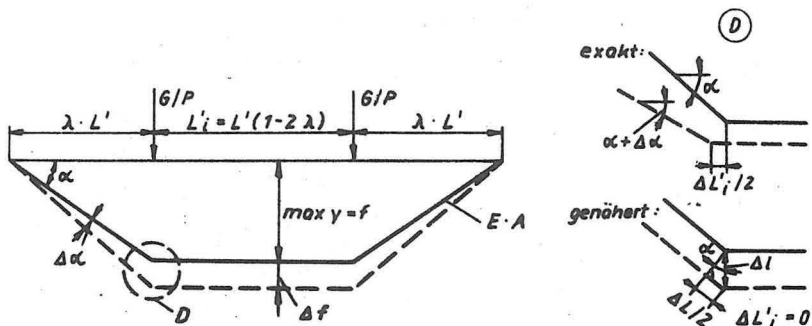


Bild 11 Geometrische Verhältnisse am Seil unter Einwirkung von zwei symmetrischen Einzellasten

$$\Delta l = \frac{\lambda \cdot L'}{2 \cdot f \cdot \cos \alpha} \Delta L \quad (24)$$

Damit ergibt sich für G:

$$G = \frac{L'^2 \cdot \lambda^2}{f^2 \cdot \cos^3 \alpha} \left( 1 + \frac{1 - 2\lambda}{\lambda} \cdot \cos^3 \alpha \right) \quad (25)$$

#### 6.2.2. Anwendung des Berechnungsverfahrens zur Ermittlung der Belastungsgrößen beim Eisdruck auf Kanalbrücken

Entsprechend den Bezeichnungen in Bild 12 kann für die vertikale Einspannkraft infolge der Zusatzbelastung  $d_p$  unter Berücksichtigung der Gleichungen (17) und (19) sowie der Beziehung

$$H^I = H_E + H_p^I \quad (26)$$

geschrieben werden:

$$H_p^I = \frac{\frac{E \cdot A}{G} + H_E}{\frac{\Delta l'}{\Delta l} - 1}$$

(27)

$H_p^I$  - vertikale Einspannkraft infolge dP (Zusatzbelastung);

$H_E$  - vertikale Einspannkraft infolge P (Vorbelastung);

E - Elastizitätsmodul des Gummimaterials;

A - Querschnittsfläche des Gummis:  $A = B \cdot D$ ;

G - Geometriekennwert;

$\Delta l'$  - Dehnung des Gummis infolge P;

$\Delta l$  - Dehnung des Gummis infolge dP.

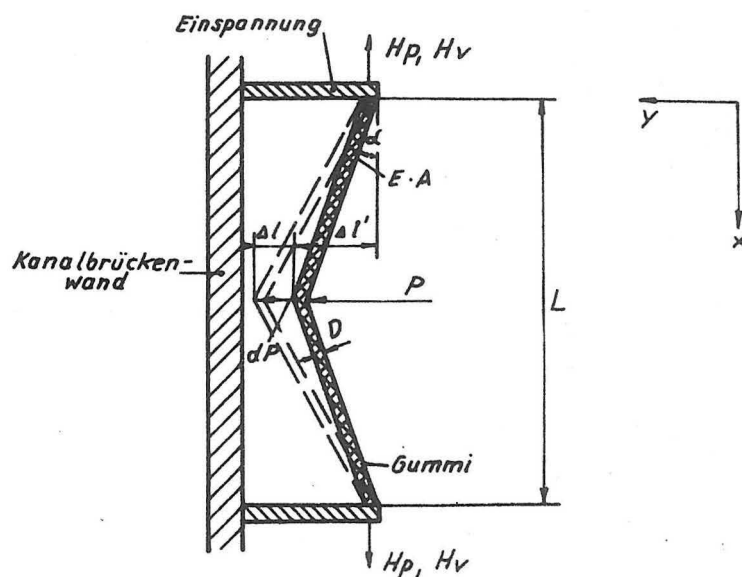


Bild 12 Kräfte und Geometrie an einer Gummimembran infolge horizontaler Belastung

Unter Beachtung der Formel (7), die für die Einspannkkräfte folgende Beziehung ergibt:

$$H_E = \frac{M(x)}{y(x)} = \frac{P \cdot L}{4 \cdot \Delta l'} \quad (28)$$

$$\text{und } H_P = \frac{dM(x)}{y(x)} = \frac{dP \cdot L}{4 \cdot \Delta l'} \quad (29)$$

mit  $l$  - Einspannlänge entsprechend Bild 12

kann die folgende Gleichung zur Ermittlung der bei einer gegenüber der ursprünglichen Verformung  $\Delta l'$  sehr viel kleineren zusätzlichen Dehnung  $\Delta l$  entstehende Kraft angegeben werden:

$$dp = \frac{\frac{E \cdot A \cdot \Delta l'}{4 \cdot L} + P}{\frac{\Delta l'}{\Delta l} - 1} \quad (30)$$

Eine Voraussetzung für die Anwendung des Berechnungsverfahrens ist die Vorgabe einer Anfangsdehnung  $\Delta l'$ . Da eine solche Formänderung bei einer senkrecht eingespannten Gummiplatte nicht gegeben ist, wird der Anfangswert der Dehnung bzw. die dazugehörige Kraft nach Theorie I. Ordnung berechnet, d. h. es werden die Formänderungen infolge Biegung für einen beidseitig eingespannten Träger ermittelt. Bei einer mittig angreifenden Einzellast gilt nach /17/:

$$P = \frac{192 E \cdot I \cdot \Delta l}{L^3} \quad (31)$$

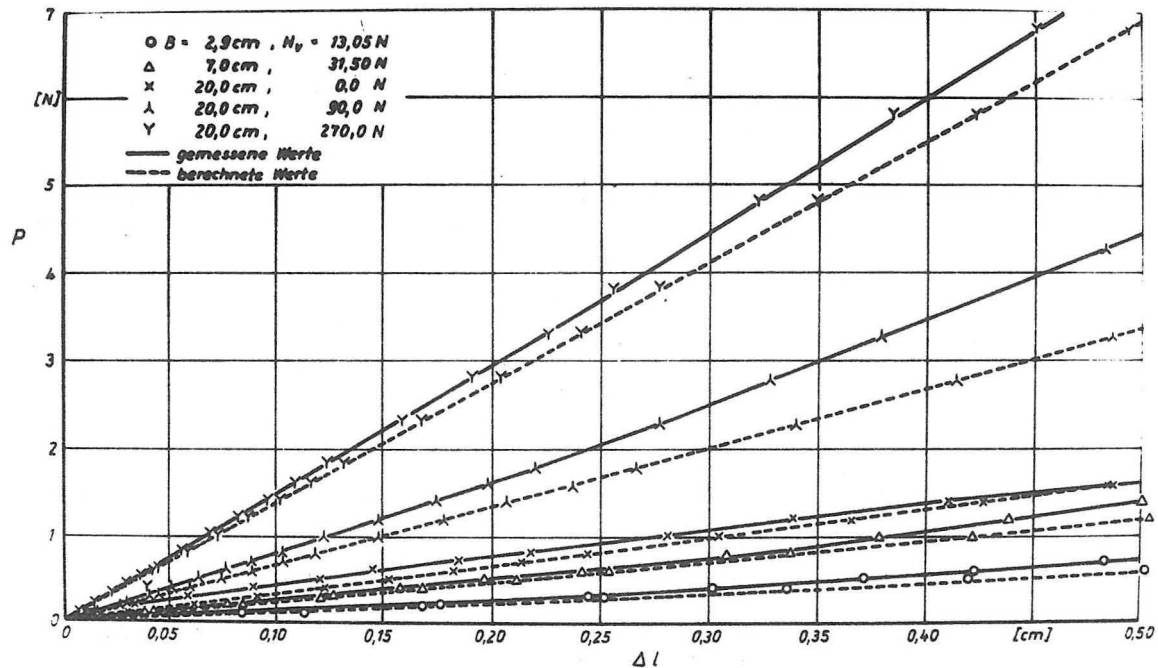


Bild 13 Gemessene und nach der Theorie I. Ordnung (beidseitig eingespannter Träger) berechnete Durchbiegung unter Berücksichtigung der Vorspannung  $H_v$

Den Nachweis für die Richtigkeit dieses Ansatzes im Bereich kleiner Dehnungen erbringen die in Bild 13 dargestellten Meßergebnisse für drei verschiedene Gummibreiten.

Um eindeutige Anfangswerte zu erhalten, wurde der Gummi bei allen durchgeführten Versuchen straff eingespannt, d. h. er wurde mit einer Vorspannung  $H_V$  belegt, welche dimensionslos gemacht, den für jeden Versuch geltenden Wert von  $H_V/A \cdot E = 5,77 \cdot 10^{-4}$  aufwies. Unter Beachtung der Formel (7) kann der abmindernde Einfluß der Vorspannung auf die Größe der Durchbiegung näherungsweise durch den folgenden Ansatz erfaßt werden:

$$P = \frac{\Delta l}{L} \cdot \frac{192 E \cdot I}{L^2} + 4 H_V \quad (32)$$

### 6.2.3. Gültigkeitsgrenzen des Berechnungsverfahrens

#### 6.2.3.1. Mittlerer Kraftangriff

Die Untersuchungen für den Lastfall eines mittigen Kraftangriffs wurden für vier verschiedene Breiten (Fördergurt:  $B = 2,9$  cm;  $7,0$  cm;  $20,0$  cm und  $200,0$  cm) und für die  $200$  cm breite Gummimatte durchgeführt. Die erhaltenen Meßergebnisse und die berechneten Werte können Bild 14 entnommen werden. Dabei ist zu beachten, daß der Ausgangswert zur stufenweisen Berechnung der Druckkräfte in Abhängigkeit von der Verformung nach Formel (30) für ein Verhältnis von  $\Delta l/L \approx 2 \cdot 10^{-3}$  ermittelt wurde. Weiterhin mußten entsprechend der Voraussetzung, daß sich  $y^{II}(x)$  nur wenig von  $y^I(x)$  unterscheidet (vgl. 6.2.1.), kleine Berechnungsintervalle gewählt werden ( $\Delta l'/\Delta l \geq 10$ ). Aus dem Vergleich zwischen den berechneten und den gemessenen Druckkräften können im wesentlichen zwei Tendenzen abgelesen werden. Die Abweichungen zwischen analytisch ermittelten und experimentell erhaltenen Werten werden

1. mit zunehmender Breite der Gummipatte und
2. mit steigender Dehnung

größer. Dabei fällt auf, daß bei einer Breite von  $2,9$  cm die berechneten und



gemessenen Werte praktisch einen identischen Kurvenverlauf aufweisen. Die mit zunehmender Gummibreite und wachsendem  $\Delta l$  größer werdenden Abweichungen lassen den Schluß zu, daß das Verhältnis  $L/B$  einen gewissen Einfluß auf das Spannungsdehnungsverhalten des Gummis hat (vgl. 6.3.). Die Ursache hierfür ist in der Inkompressibilität des Gummis ( $\mu \approx 0,5$ ) zu suchen, d. h. das jede Dehnung in Längsrichtung eine Verkürzung in Querrichtung mit sich bringt (Volumen bleibt konstant) und durch die Einspannung am oberen und unteren Rand in Abhängigkeit vom Verhältnis  $L/B$  sowie  $\Delta l/L$  Querkräfte verursacht, die ihrerseits die Dehnung des Gummis einschränken, wodurch bei gleichen Verformungen größere Kräfte verursacht induziert werden. Dieser Breiteneinfluß wird durch das in /16/ entwickelte Berechnungsverfahren für elastische Seile nicht berücksichtigt.

#### 6.2.3.2. Berücksichtigung der Eisdicke

Um die Eisdicke bei der Berechnung der Druckkräfte berücksichtigen zu können, wird die Einzelkraft  $P$  durch zwei jeweils am oberen und unteren Rand der Eisdecke angreifenden Kräfte  $P_1 = P_2 = P/2$  ersetzt. Damit verändert sich die Gleichung (30) unter Beachtung der modifizierten Beziehung (29)

$$H_P^I = \frac{dP (L - d)}{4 \Delta l'} \quad (33)$$

mit  $d$  als Eisdicke zu

$$dP = \frac{\frac{4}{G(L-d)} \cdot \frac{E \cdot A \cdot \Delta l'}{4} + \frac{P}{(1-d)}}{\frac{\Delta l'}{\Delta l} - 1} \quad (34)$$

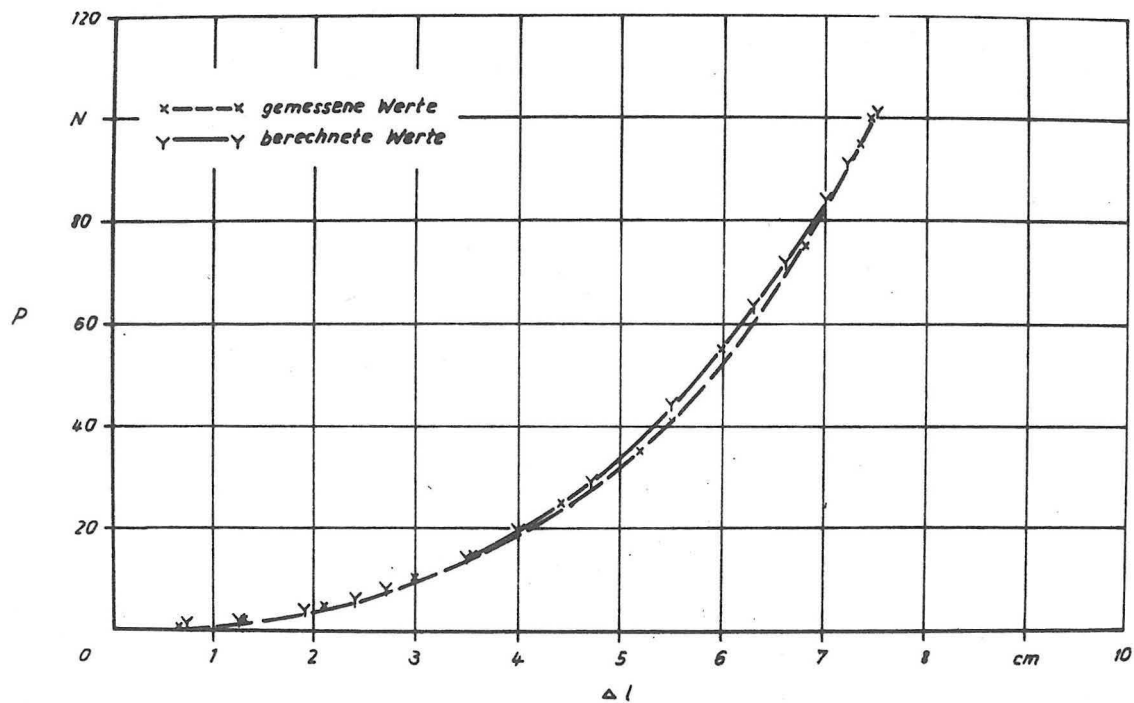


Bild 14.1 Berechnete und gemessene Druckkräfte  $P$  in Abhängigkeit von der Dehnung  $\Delta l$  bei einer mittig angreifenden Einzellast  
(Fördergurt:  $L = 93,6$  cm;  $B = 2,9$  cm;  $H_V = 13,05$  N)

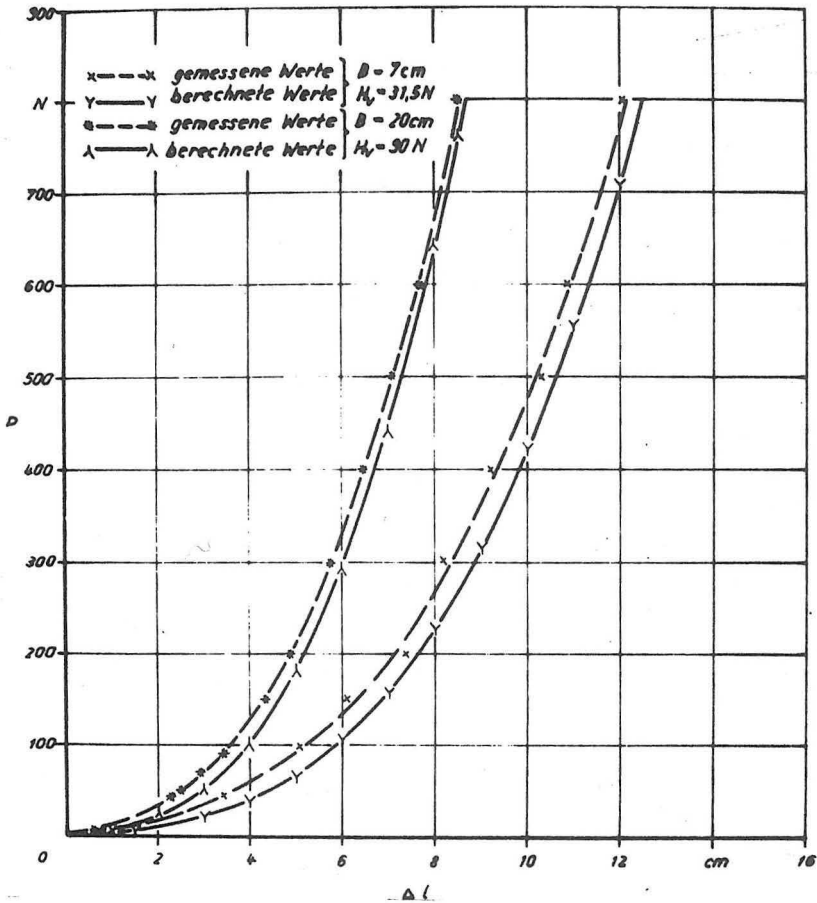


Bild 14.2 Berechnete und gemessene Druckkräfte  $P$  in Abhängigkeit von der Dehnung  $\Delta l$  bei einer mittig angreifenden Einzellast  
(Fördergurt:  $L = 103 \text{ cm}$ )

Der Anfangswert zur stufenweisen Berechnung der Druckkräfte wird nach /17/ durch die folgende Beziehung erhalten:

$$P = 2P_1 = 2 \frac{6 \cdot \Delta l \cdot E \cdot I \cdot L}{\sigma^3 (2C_1 - C)} + \frac{4H_v \cdot \Delta l}{(L - d)} \quad (35)$$

$$\text{mit } C = \frac{L - d}{2} \quad (36)$$

$$C_1 = C + d \quad (37)$$

Weiterhin ist zu beachten, daß zur Ermittlung des in die Beziehung (34) eingehenden Geometrie-kennwertes G die Gleichung (25) heranzuziehen ist.

Die analytisch ermittelten und experimentell erhaltenen Ergebnisse können Bild 15 entnommen werden. Während die Werte für den schmalen Gummi (Bild 15.1) gut übereinstimmen, zeigt sich bei einer Breite von 200 cm (Bild 15.2) eine relativ große Abweichung, die ihre Ursache wiederum im Einfluß des Längen-Breiten-Verhältnisses der Gummiplatte auf die Größe der Druckkräfte hat.

#### 6.2.3.3. Außermittiger Kraftangriff

Beim außermittigen Kraftangriff tritt neben den genannten Schwierigkeiten das Problem auf, daß bei einem behinderten Längenausgleich die Resultierende der Druckkraft auf Grund der durch die unterschiedliche Dehnung von  $L'_1$  und  $L'_2$  hervorgerufene Vertikalkomponente nicht mehr in horizontaler Richtung wirkt. Das würde bedeuten, daß die Eisdecke in Abhängigkeit vom Angriffspunkt der Druckkraft angehoben bzw. niedergedrückt wird, wobei vorauszusetzen ist, daß das Eis am Gummi anfriert.

Bei den folgenden Betrachtungen soll der Einfluß der vertikalen Kraftkomponente vernachlässigt werden, was bei relativ kleinen Außermittigkeiten, die in der Praxis immer anzustreben sind und auf Grund des in der Regel wenig pendelnden Wasserstandes in einem Kanal auch praktisch realisierbar sind, zu

einer verhältnismäßig geringen Verfälschung der tatsächlichen Verhältnisse führt.

Unter Beachtung der in Bild 16 verwendeten Beziehungen ergibt sich die Ausgangsgleichung zur Ermittlung des Geometriekennwertes G zu

$$G = \frac{1}{\Delta l'} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta l'} \int_0^L (1 + y'(x)^2) dx \quad (18.1)$$

Mit den Beziehungen

$$y' = \tan \alpha_1 \text{ im Abschnitt } L_1$$

$$y' = \tan \alpha_2 \text{ im Abschnitt } L_2$$

wird

$$\int_0^L (1 + y'(x)^2) dx = \frac{L_1}{\cos^2 \alpha_1} + \frac{L_2}{\cos^2 \alpha_2} \quad (38)$$

Für  $\Delta l$  läßt sich schreiben:

$$\Delta l = \frac{\Delta L'_1}{\sin \alpha_1} = \frac{\Delta L'_2}{\sin \alpha_2} = \frac{\Delta L'_1 \cdot L'_1}{\Delta l'} = \frac{\Delta L'_2 \cdot L'_2}{\Delta l'} \quad (39)$$

$$\Delta l = \frac{\Delta L'_1 \cdot L_1}{\Delta l' \cos \alpha_1} = \frac{\Delta L'_2 \cdot L_2}{\Delta l' \cdot \cos \alpha_2} \quad (39.1)$$

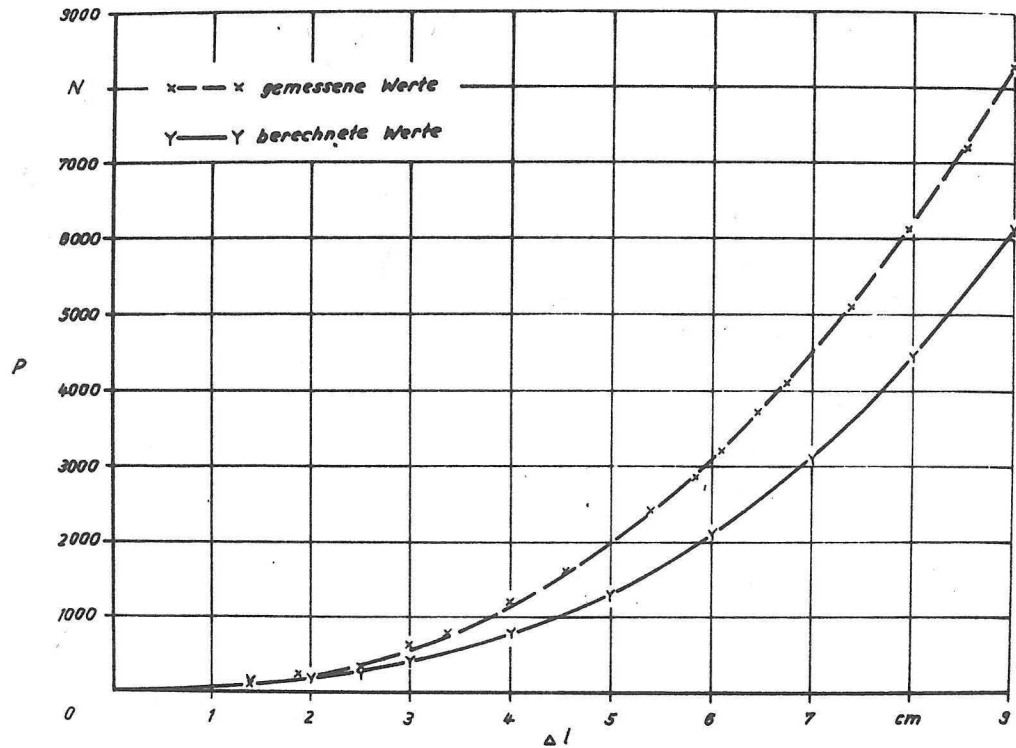


Bild 14.3

Berechnete und gemessene Druckkräfte  $P$  in Abhängigkeit von der Dehnung  $\Delta l$  bei einer mittig angreifenden Einzellast  
(Fördergurt:  $L = 123$  cm;  $B = 200$  cm;  $H_V = 900$  N)

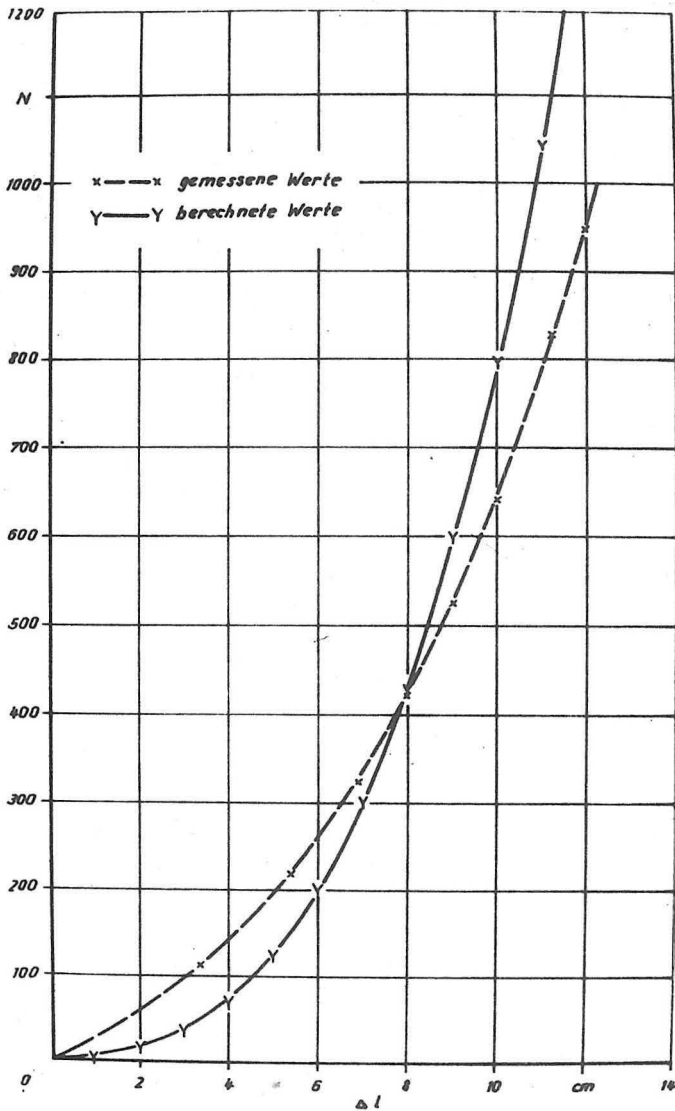


Bild 14.4 Berechnete und gemessene Druckkräfte  $P$  in Abhängigkeit von der Dehnung  $\Delta l$  bei einer mittig angreifenden Einzellast  
(Gummimatte:  $L = 123$  cm;  $B = 200$  cm;  $H_v = 104,7$  N)

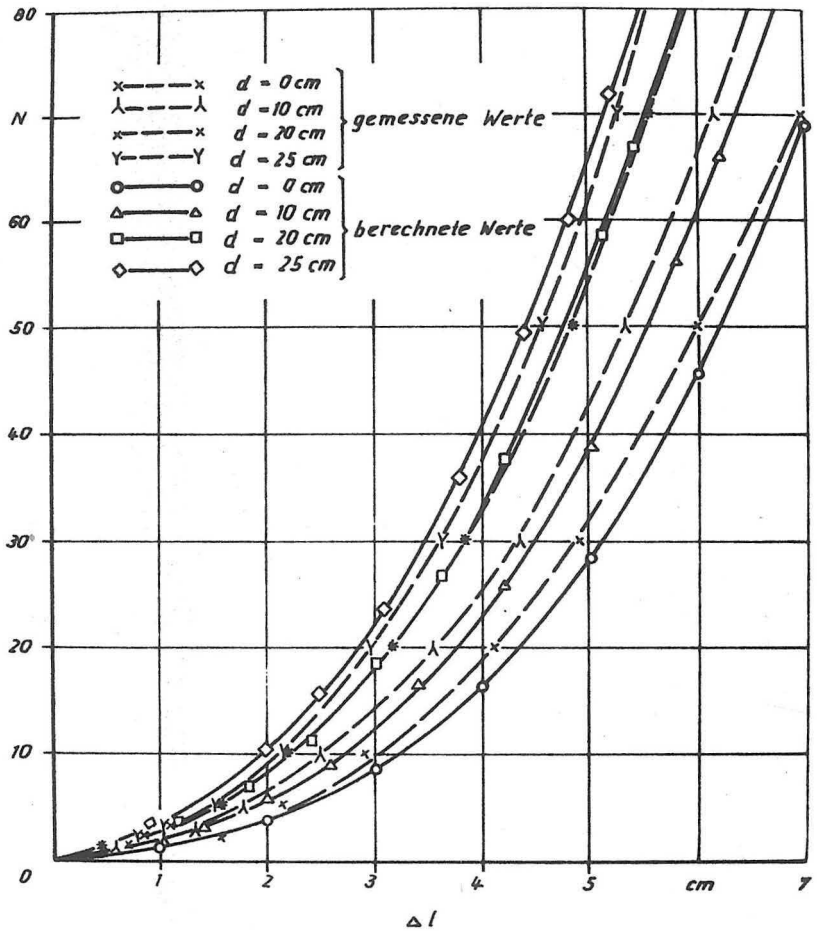


Bild 15.1 Berechnete und gemessene Druckkräfte  $P$  in Abhängigkeit von der Dehnung  $\Delta l$  bei einer mittig angreifenden Einzellast unter Berücksichtigung der Eisdicke (Fördergurt:  $L = 100,7 \text{ cm}$ ;  $B = 2,9 \text{ cm}$ ;  $H_v = 13,05 \text{ N}$ )



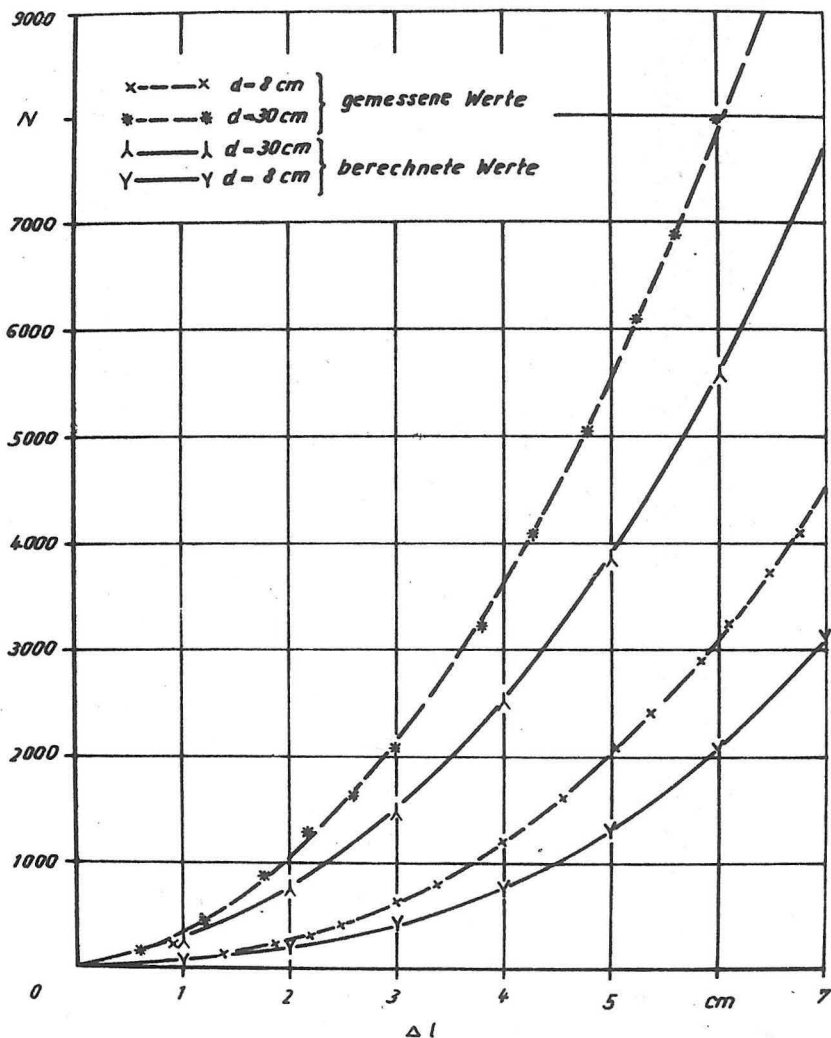


Bild 15.2 Berechnete und gemessene Druckkräfte  $P$  in Abhängigkeit von der Dehnung  $\Delta l$  bei einer mittig angreifenden Einzellast unter Berücksichtigung der Eisdicke (Fördergurt:  $L = 123 \text{ cm}$ ;  $B = 200 \text{ cm}$ ;  $H_v = 900 \text{ N}$ )

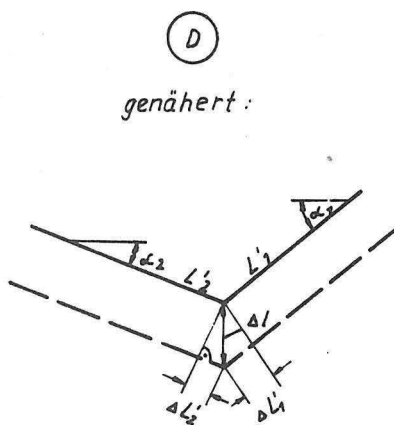
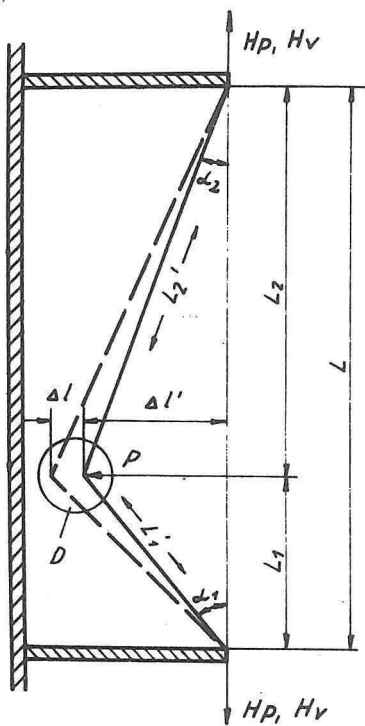


Bild 16      Kräfte und Geometrie an einer Gummimembran infolge einer außermittig horizontalen Belastung

Unter Berücksichtigung der Formeln (38) und (39.1) ergibt sich damit die folgende Gleichung zur Ermittlung des Geometrie-kennwertes G:

$$G = \frac{1}{\Delta l'} \cdot \frac{\Delta L'_1 \cdot L_1}{\Delta l' \cdot \cos \alpha_1 (\Delta L'_1 + \Delta L'_2)} \left( \frac{L_1}{\cos^2 \alpha_2} + \frac{L_2}{\cos^2 \alpha_2} \right) \quad (40)$$

Für die Horizontalkomponenten der Seilkraft gelten entsprechend Bild 10 die nachstehenden Beziehungen:

$$H_P^I = \frac{dP \cdot L_1 \cdot L_2}{L \cdot \Delta l'} \quad (41)$$

$$H_E = \frac{P \cdot L_1 \cdot L_2}{L \cdot \Delta l'} \quad (42)$$

Damit ergibt sich die Änderung der Kraft in Abhängigkeit von der Dehnung  $\Delta l$  zu:

$$dP = \frac{\frac{E \cdot A \cdot \Delta l' \cdot L}{G \cdot L_1 \cdot L_2} + P}{\frac{\Delta l'}{\Delta l} - 1} \quad (43)$$

Entsprechend dem veränderten Angriffspunkt der Druckkraft erhält man für den Anfangswert P:

$$P = \frac{L \cdot \Delta l}{L_1 \cdot L_2} \left( \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot L^2}{L_1^2 \cdot L_2^2} + H_V \right) \quad (44)$$

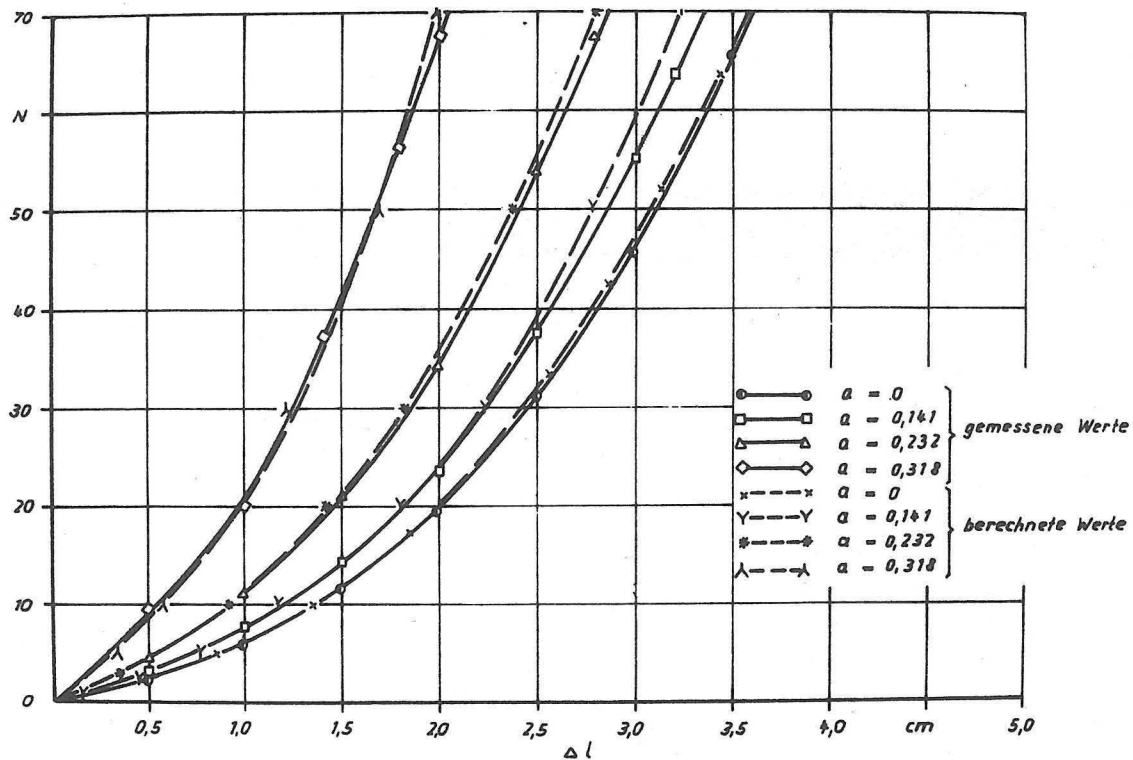


Bild 17.1 Berechnete und gemessene Druckkräfte  $P$  in Abhängigkeit von der Dehnung  $\Delta l$  bei einer außermittig angreifenden Einzellast

(Fördergurt:  $L = 55,5$  cm;  $B = 2,9$  cm;  $H_V = 13,05$  N)

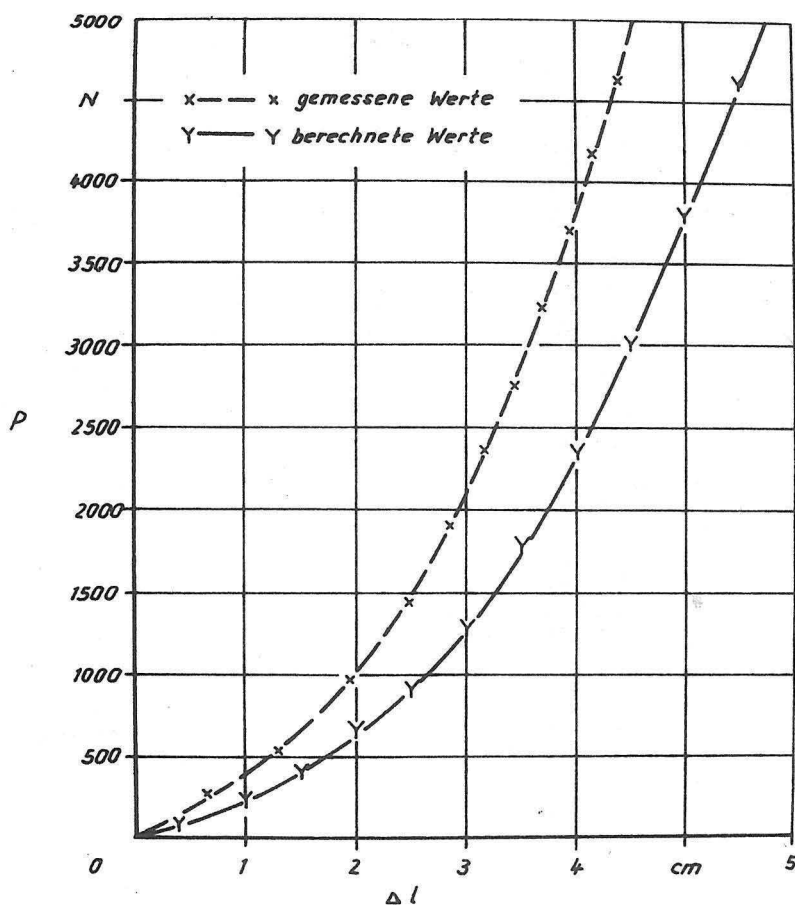


Bild 17.2

Berechnete und gemessene Druckkräfte  $P$  in Abhängigkeit von der Dehnung  $\Delta l$  bei einer außermittig angreifenden Einzellast

(Fördergurt:  $L = 123$  cm;  $B = 200$  cm;  $H_v = 900$  N)

Die analytisch ermittelten und experimentell erhaltenen Ergebnisse sind im Bild 17 grafisch dargestellt. Der Kennwert für die Außermittigkeit  $a$  wurde über folgende Beziehung ermittelt:

$$a = \frac{\frac{L}{2} - J_1}{L} \quad (45)$$

Während die Werte für den schmalen Gummi (Bild 17.1) wiederum eine befriedigende Übereinstimmung ergeben, zeigt sich bei den Untersuchungen am Labormodell ( $b = 200$  cm) eine verhältnismäßig große Abweichung, die auf den bereits erwähnten Breiteneinfluß zurückzuführen ist.

### 6.3. Untersuchung des Breiteneinflusses

Der Einfluß der Gummibreite  $B$  wird aus der dimensionslosen Auftragung der Druckkräfte  $P/A \cdot E$  und der Dehnung  $\Delta l/L$  ersichtlich (Bild 18). Er hat seine Ursache in den durch die Einspannung des Gummis behinderte Verkürzung in Querrichtung hervorgerufenen Querkraften, die vom Verhältnis  $L/B$  sowie  $\Delta l/L$  abhängen und die Dehnung einschränken bzw. bei gleichen Verformungen zu größeren Kräften führen. Diese Abhängigkeit ist durch die Versuchsergebnisse bestätigt worden.

Um den Einfluß der Gummibreite quantitativ erfassen zu können, wurden für eine konstante dimensionslose Druckkraft von  $P/A \cdot E = 2,5 \cdot 10^{-3}$ , die auf die Spannlänge bezogenen Dehnungen  $\Delta l/L$  in Abhängigkeit vom Verhältnis  $L/B$  ermittelt. Da es sich hierbei um Einzelmessungen handelt (einmalige Belastung mit der Kraft  $P/A \cdot E = 2,5 \cdot 10^{-3}$ ), ergeben sich im Gegensatz zu den aus den Meßreihen (stufenweise Steigerung der Belastung) erhaltenen Werten wesentlich kleinere Dehnungen (Bild 19). Die Ursache für diese Abweichungen ist in der Zeitabhängigkeit des Spannungs-Dehnungsverhaltens des Gummis zu suchen. Für die praktische Anwendung empfiehlt es sich, die Werte aus den Einzelmessungen zur Berechnung der Druckkräfte heranzuziehen, da diese die ungünstigeren Belastungsgrößen ergeben.

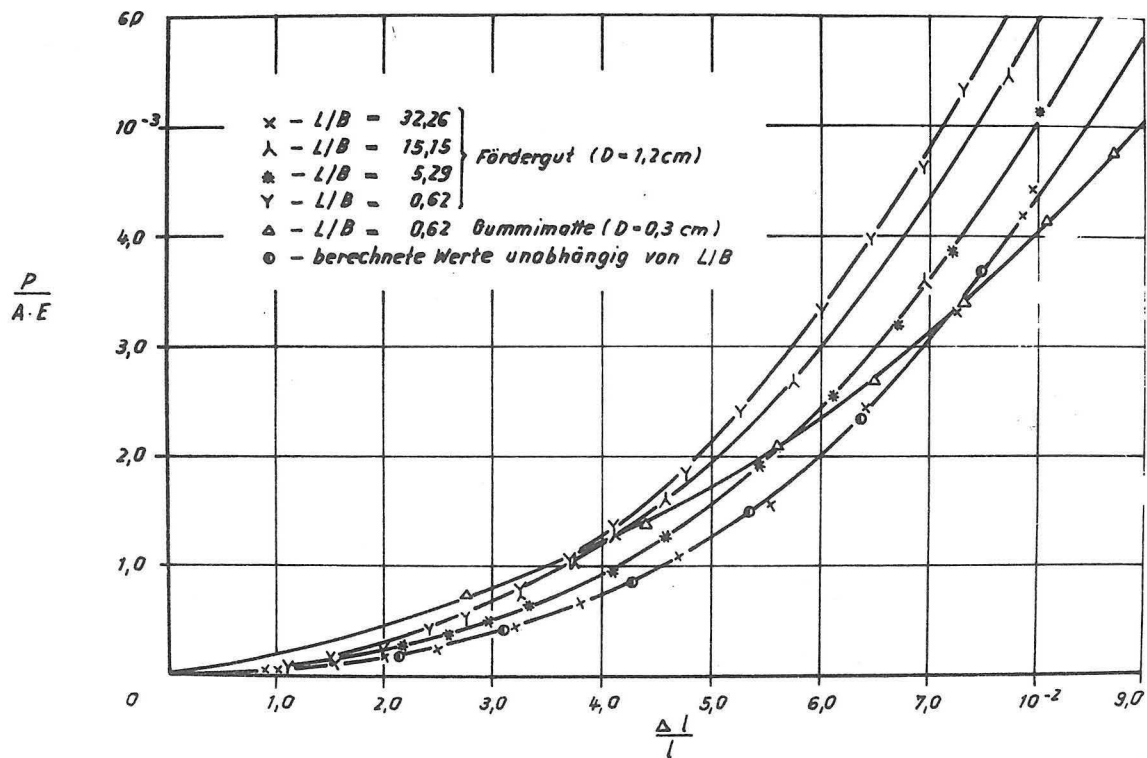


Bild 18      Spannungs-Dehnungsverhalten des Gummis in Abhängigkeit  
 vom Verhältnis  $L/B$

Entsprechend den aus Bild 19 zu entnehmenden Meßwerten zeigt sich dabei folgender Zusammenhang zwischen den auf die Einspannlänge bezogenen Dehnungen  $\Delta l/L$  und dem Verhältnis  $L/B$ :

$$\frac{\Delta l}{L} = 0,0367 \left( \frac{L}{B} \right)^{0,0891} \quad (46)$$

Damit kann für jedes Längen-Breitenverhältnis die Dehnung  $\Delta l$  für eine Druckkraft von der Größe  $P/A \cdot E = 2,5 \cdot 10^{-3}$  direkt ermittelt werden.

Um die Eisdicke bzw. einen außermittigen Kraftangriff berücksichtigen zu können, erfolgt eine schrittweise Berechnung der Druckkräfte bis zu dem Wert von  $P/A \cdot E = 2,5 \cdot 10^{-3}$ . Unter der Annahme, daß für alle Lastfälle der gleiche Breitereinfluß wirksam ist, ergibt sich bei einem dadurch gleichen Anstieg der Faktor  $K$  in Gleichung (46) zu:

$$K = \frac{\frac{\Delta l}{L}}{\left( \frac{L}{B} \right)^{0,0891}} \quad (47)$$

Dabei ist zu beachten, daß für  $L/B$  der Wert eingesetzt wird, der eine gute Übereinstimmung der berechneten mit den gemessenen Größen gewährleistet. Wie die Untersuchungsergebnisse zeigen, trifft das für ein Längen-Breitenverhältnis von  $L/B > 35$  zu.

## 7. Berechnungsbeispiel

Um einen Vergleich mit den experimentell erhaltenen Größen durchführen zu können, wurde zur Ermittlung des Breitereinflusses die sich aus den Meßbreiten ergebende Kurve 1 (siehe Bild 19) zur Berechnung herangezogen.



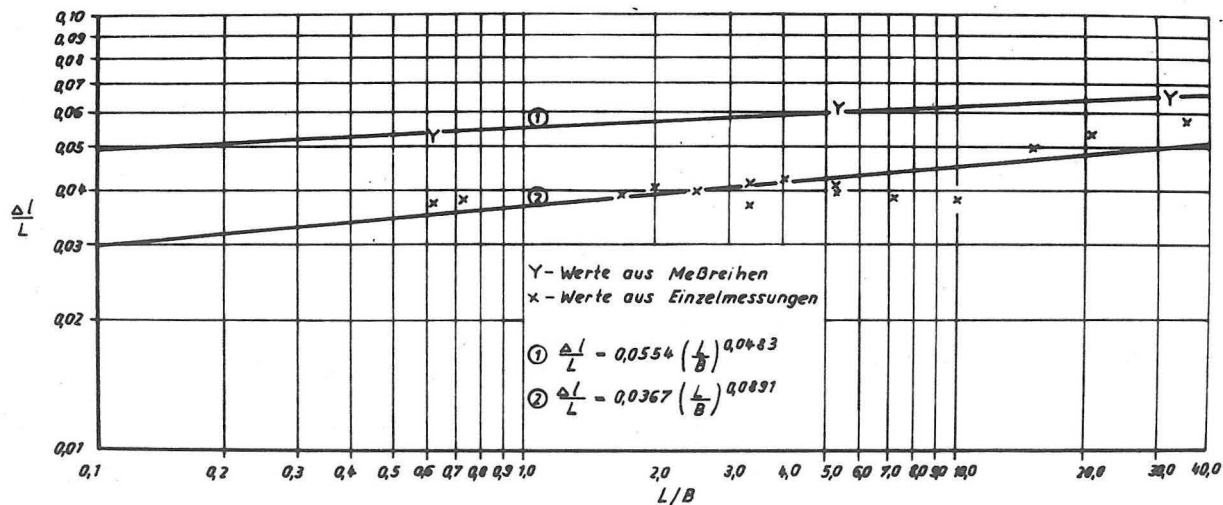


Bild 19      Einfluß des Längen-Breiten-Verhältnisses auf die Größe der Dehnung bei einer dimensionslosen Druckkraft von  $P/A \cdot E = 2,5 \cdot 10^{-3}$   
(Fördergurt:  $H_V/A \cdot E = 5,769 \cdot 10^{-4}$ )

Eine zwei Meter breite Gummimembran wird durch die Ausdehnung einer Eisdecke außermittig belastet. Die Eisdicke soll vernachlässigt werden. Zu berechnen sind die Druckkräfte in Abhängigkeit von der Dehnung im Bereich von 0 bis 5 cm. Folgende Parameter sind bekannt:

- Einspannlänge:  $L = 123 \text{ cm}$
- Breite des Gummis:  $B = 200 \text{ cm}$
- Dicke des Gummis:  $D = 1,2 \text{ cm}$
- E-Modul des Gummis:  $E = 6500 \text{ N/cm}^2$
- Angriffspunkt der Druckkraft  
(siehe Bild 16):  $L_1 = 20,75 \text{ cm}$   
 $L_2 = 99,25 \text{ cm}$
- Vorspannkraft:  $H_v = 900 \text{ N}$

Diese Ausgangsdaten entsprechen den bei der Untersuchung am Labormodell vorliegenden Verhältnissen. Die Meßergebnisse zeigt Bild 17.2.

Zur Ermittlung der Druckkräfte in Abhängigkeit von den Dehnungen, ohne Berücksichtigung des Breitereinflusses ist zunächst eine Gummibreite zu wählen, die eine gute Übereinstimmung der berechneten mit den gemessenen Größen gewährleistet ( $L/B \geq 35$ ):

$$B = \frac{L}{35} = \underline{3,5 \text{ cm}}$$

Der Ausgangswert für die Berechnung ergibt sich nach Gleichung (44) zu ( $\Delta l/L \leq 2 \cdot 10^{-3}$ ):

$$P = \frac{123 \cdot 0,1}{20,75 \cdot 99,25} \left( \frac{3 \cdot 6500 \cdot 0,504 - 123^2}{20,75^2 \cdot 99,25^2} + 15,75 \right) = \underline{0,3 \text{ N}}$$

Für eine dimensionslose Druckkraft von  $P/A \cdot E = 2,5 \cdot 10^{-3}$  ( $P = 68,3 \text{ N}$ ) ergibt sich nach der schrittweisen Berechnung mit Formel (43) eine auf die Einspannlänge bezogene Dehnung von  $\Delta l/L = 4,11 \cdot 10^{-2}$ . In Gleichung (47) eingesetzt erhält man den Faktor K zu:

$$K = \frac{4,11 \cdot 10^{-2}}{\left( \frac{123}{3,5} \right)^{0,0483}} = 0,035$$

Nun läßt sich mit Hilfe der Beziehung (46) die Dehnung ermitteln, die unter Berücksichtigung der Breite infolge einer außermittigen Belastung bei einer Druckkraft von  $P/A \cdot E = 2,5 \cdot 10^{-3}$  ( $P = 3900 \text{ N}$  bei  $200 \text{ cm}$  Breite) auftritt:

$$\frac{\Delta l}{L} = 0,035 \left( \frac{123}{200} \right)^{0,0483} = 3,38 \cdot 10^{-2}$$

$$\Delta l = 3,38 \cdot 10^{-2} \cdot 123 = \underline{4,15 \text{ cm}}$$

Mit diesen Ausgangswerten ( $\Delta l = 4,15 \text{ cm}$ ,  $P = 3900 \text{ N}$ ) ist es jetzt möglich, sowohl für größere als auch für kleinere Dehnungen (dazu ist die Gleichung (43) entsprechend umzustellen) die Druckkräfte zu berechnen.

Die so ermittelten und die aus den Versuchen erhaltenen Werte sind in Bild 20 grafisch dargestellt. Im Vergleich zu den ohne Berücksichtigung des Breiteninflusses berechneten Werten (Bild 17.2) ist hier eine wesentlich bessere Übereinstimmung mit den gemessenen Werten zu verzeichnen.

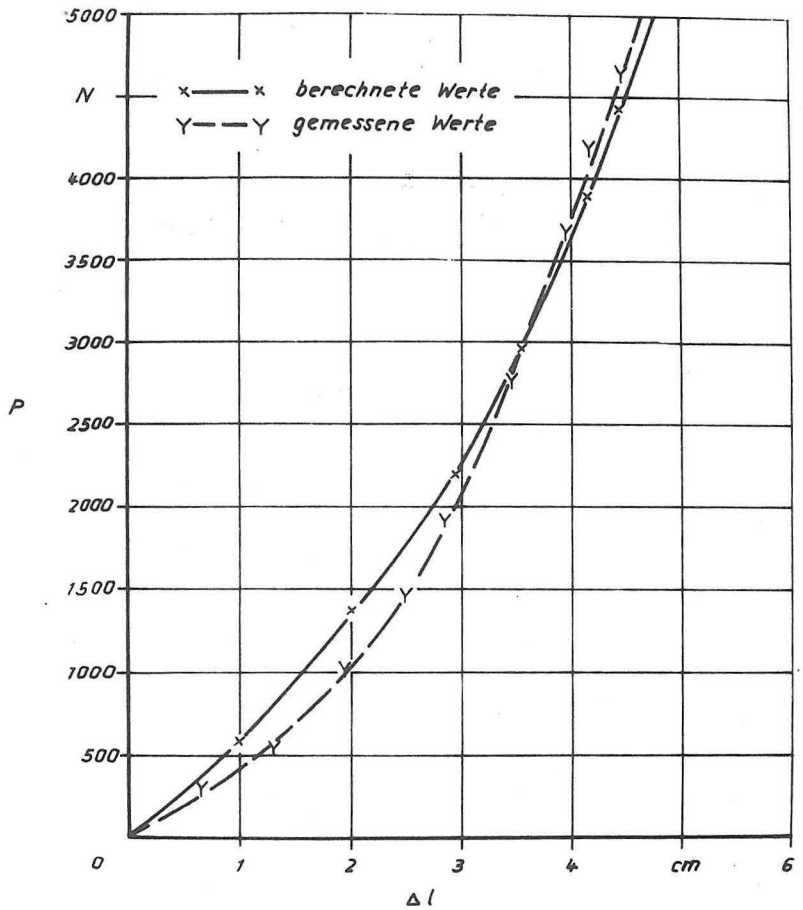


Bild 20

Unter Berücksichtigung des Breitereinflusses berechnete und gemessene Druckkräfte  $P$  in Abhängigkeit von der Dehnung  $\Delta l$  bei einer außermittig angreifenden Einzelast ( $a = 0,33$ )

(Fördergurt:  $L = 123$  cm;  $B = 200$  cm;  $H_V = 900$  N)

## 8. Zusammenfassung

Das in dieser Arbeit dargestellte Berechnungsverfahren ermöglicht die näherungsweise Bestimmung der sich bei der Dehnung einer Gummimembran einstellen- den Druckkräfte. Dabei können die Größe der Druckfläche, ein außermittiger Kraftangriff sowie der Einfluß der Gummibreite berücksichtigt werden. Die Ver- formung der Membran infolge des Wasserdruckes kann, wenn man die dreieckför- mige Lastverteilung durch eine Resultierende im Schwerpunkt ersetzt, ebenfalls mit Hilfe des aufgezeigten Berechnungsverfahrens (außermittiger Kraftangriff) abgeschätzt werden.

Die bei den Untersuchungen am Labormodell erhaltenen Druckkräfte waren wesent- lich geringer als die in der Literatur /12/ angegebenen Werte für den thermi- schen Eisdruck, die in Abhängigkeit von der Konstruktionsweise der Brücke im Bereich zwischen 160 ... 250 kN/m liegen. Wie die Untersuchungen zeigten, ver- ringern sich diese Kräfte beim Einsatz hochelastischer Bauelemente unter den bei den Modellversuchen wirksamen Bedingungen ( $L = 123$  cm;  $B = 200$  cm;  $D = 1,2$  cm;  $E = 6500$  N/cm<sup>2</sup>) bei einer Eisdicke von  $d = 30$  cm und einer angenommenen Aus- dehnung des Eises  $\Delta l = 6$  cm, was bei einer Kanalbreite von 34 m eine Tempe- raturdifferenz von ca.  $- 32^\circ\text{C}$  voraussetzt, auf einen Wert von ca. 4 kN/m (vgl. Anl. 10.2). Dabei ist zu beachten, daß diese Kraft bei der Wahl ande- rer Ausgangswerte (Gummimaterial, Einspannlänge) weiter verringert werden kann.

## 9. Zusammenstellung der verwendeten Symbole

Symbol	Maßeinheit	Bedeutung
A	$\text{cm}^2, \text{m}^2$	Querschnittsfläche des Gummis
B	$\text{cm}, \text{m}$	Breite des Gummis
$\bar{B}$	$\text{cm}, \text{m}$	fiktive Breite des Gummis
D	$\text{mm}, \text{cm}$	Dicke des Gummis
d	$\text{cm}, \text{m}$	Eisdicke
E	$\text{N}/\text{cm}^2$	Elastizitätsmodul des Gummis
G	—	Geometrie-kennwert
$H_G$	$\text{N}/\text{KN}$	vertikale Einspannkraft infolge einer Vorlast
$H_P$	$\text{N}, \text{KN}$	vertikale Einspannkraft infolge einer Zusatzlast dP
$H_V$	$\text{N}, \text{KN}$	Vorspannkraft
I	$\text{cm}^4$	Trägheitsmoment
L	$\text{cm}, \text{m}$	Einspannlänge der Gummiplatte
$L'$	$\text{cm}, \text{m}$	Länge des durch die Vorlast P belegten Gummis
$\Delta L'$	$\text{cm}$	Längenänderung des Gummis infolge der Zusatzlast dP
l	$\text{m}$	Kanalbrückenbreite
$\Delta l$	$\text{mm}, \text{cm}$	Auslenkung des Gummis infolge einer Vorlast P
$\Delta l'$	$\text{mm}, \text{cm}$	Auslenkung des Gummis infolge einer Zusatzlast dP
P	$\text{N}, \text{KN}$	Vorlast
dP	$\text{N}, \text{KN}$	Zusatzlast

$\Delta T$	$^{\circ}\text{C}$	Temperaturdifferenz des Eises
$\alpha_t$	$1/^{\circ}\text{C}$	linearer Wärmeausdehnungskoeffizient des Eises
$\alpha$	Grad	Verdrehungswinkel der Gummimembran in- folge einer Vorlast P
$d\alpha$	Grad	Verdrehungswinkel der Gummimembran in- folge einer Zusatzkraft dP.

## 10. Literaturverzeichnis

- / 1/      STRAUBE, CH.:      Lastannahmen aus Eisdruck bei stählernen Kanalbrücken.  
Studie, VEB Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau, Berlin 1982 (unveröffentlicht)
- / 2/      LAUCHT, H.:      Von den Eigenschaften des Eises.  
Mitteilungen des Franzius-Instituts für Grund- und Wasserbau der TH Hannover (1963) H. 23
- / 3/      SCHWARZ, I.:      Treibeisdruck auf Pfähle.  
Mitteilungen des Franzius-Instituts für Grund- und Wasserbau der TU Hannover (1970) H. 34
- / 4/      SCHWARZ, I.:      Über die physikalischen Vorgänge beim Eisdruck.  
Mitteilungen des Franzius-Instituts für Grund- und Wasserbau der TU Hannover (1968) H. 31
- / 5/      PLAGEMANN, W.:      Zum Ansatz von Eisbelastungen.  
Bauplanung - Bautechnik, Berlin (1969) H. 7
- / 6/      KORZHAVIN, K. N.:      Vozdejstvie L'da na inzhenernye sooruzhenija.  
Verlag der sibirischen Abteilung der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Novosibirsk 1962
- / 7/      ROYEN, N.:      Ice Pressure with Temperature.  
USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory.  
Hanover. New Hampshire, 1955
- / 8/      ROSE, E.:      Thurst exerted by expanding ice sheet.  
Proc. Amer. Soc. of Civil Engineers (1946) Vol. 72 (1947) Vol. 73
- / 9/      MONFORE, G. E.:      Ice Pressure against Dams.  
American Society of Civil Engineers.  
Vol. 78. Report Nr. 162 1952
- /10/      ASSUR, A.:      Maximum Lateral Pressure exerted by ice-Sheets.  
Proceedings of International Association for Hydraulic Research.  
8th Congress, Vol. III. Montreal, 1959



- /11/ DROVIN, M.: Static ice Forces on Extended Structures, Ice Pressure against Structures. Proceedings of Conference. Laval University Quebec. November 1966. Ottawa 1968
- /12/ ANDERSON: Physical Constants of Sea ice. Research applied in Industrie. London 1960, Vol. 13, Nr. 8
- /13/ CARSTENS, T.: Working Group on ice Forces on Structures, A State-of-the-Art Report. Part I: Thermal ice Forces (I. H. KIELDGAARD; T. CARSTENS). IAHR, Section on ice Problems, Working Group on ice Forces on Structures, Spezial Report 80-26, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, USA (1980)
- /14/ BROCKAMP, B.; QUERFURTH, H.: Untersuchungen über die E-Konstanten von See- und Kunsteis. Polarforschung 34 (1964), Band 5, Heft 1/2
- /15/ Sonderforschungsbereich 64 der Universität Stuttgart: Weitgespannte Flächentragwerke. Mitteilungen 12/1973, Stuttgart 1973
- /16/ PÖRSCHMANN, H.: Bautechnische Berechnungstabellen für Ingenieure. Leipzig (1979)

Inhalt der letzten 5 Hefte, die in dieser Reihe erschienen.

Heft 48/ 1985

- |   |  |
|---|--|
| GLAZIK, G.                              | Der 26. Internationale Schifffahrtskongreß 1985 in Brüssel - 100 Jahre PIANC - 100 Jahre internationale Zusammenarbeit zur Entwicklung von Schifffahrt und Verkehrswasserbau |
| FUEHRER, M.<br>RÖMISCH, K.              | Der Einfluß der Rauigkeitsparameter von Sohle und Ufer eines Kanals auf das Widerstandsverhalten von Schiffen  |
| ECKERT, P.<br>JUNK, P.<br>LEONHARDT, W. | Automatisierung von Wehranlagen  |
| GLAZIK, G.                              | Methodischer Beitrag zu Planungsproblemen zur Entwicklung der Ex- und Import-Transporte von Entwicklungsländern durch komplexe Nutzung der Binnen- und Seeschifffahrt        |
| ENGELKE, G.                             | Grundsätze der Entwicklung, Konstruktion, Unterhaltung und des Betriebes von Binnenwasserwegen für Erholungszwecke   |
| FUEHRER, M.<br>RÖMISCH, K.              | Hydrodynamische Kraftwirkungen auf Schiffe bei Fahrt durch Kanäle - ein Beitrag zur Einschätzung der Steuerfähigkeit im begrenzten Fahrwasser                                |
| FUEHRER, M.<br>RÖMISCH, K.              | Beitrag zur Dimensionierung von Fendern und Dalben   |

Heft 49/ 1986

- |             |  |
|-------------|--|
| FUEHRER, M. | Wechselbeziehungen zwischen Schiff und beschränktem Fahrwasser |
|-------------|--|

Heft 50/ 1986

- |               |   |
|---------------|---|
| ECKERT, P.    | Beitrag zur mathematischen Modellierung des Geschiebetransportes in alluvialen Flachlandflüssen                                 |
| GLAZIK, G.    | Einfluß der Maßstabsverzerrungen an Flußmodellen auf die hydraulische Ähnlichkeit hydrotechnischer Bauwerke am bzw. im Flußlauf |
| JUNK, P.      | Simulation des Verhaltens einer Stauhaltung für den Entwurf einer mikrorechnergestützten Wehrregelung                           |
| PANIEBEEF, P. | Aerodynamische Modellierung hydraulischer Abflüsse mit freier Oberfläche  |

Heft 51/ 1987

SCHEIBNER, H.  
BECHER, G.

Ermittlung des Index der organischen Beimengungen  
durch die Glühverlustmethode

GRÜGER, N.  
RAHN, H.

Beitrag zum Bau, zur Sicherung und Sanierung von Bahn-  
dämmen auf organischem Baugrund in der DDR

Heft 52/ 1987

Zusammengestellt von  
Dr.-Ing. WENDT, D.

Entwicklungsstand, Berechnungs- und Ausführungsbei-  
spiele sowie wissenschaftliche Weiterentwicklung der  
Bauweise "Bewehrte Erde" in der DDR

